سلسلة الثقافة المميزة
1

بول ديفيس

العوالم الأخرى

صورة الكون والوجود والعقل والمادة والزمن في الفيزياء الحديثة

ترجمه عن الإنكليزية
د. حاتم النجدي

مراجعة
د. أدهم السمان

قدم له
العماد مصطفى طلاس





دمشق ــ اوتوستراد المزة
هاتف
٢٤٤١٢٦ ــ ٢٤٣٩٥١ ــ ٢١٣٨٢١
تلكس: ٤١٢٠٥٠
ص. ب: ١٦٠٣٥
العنوان البرقي
طلاسدار
TLASDAR

ريع الدار مخصص
لصالح مدارس أبناء الشهداء في القطر العربي السوري

العوالم الأخرى

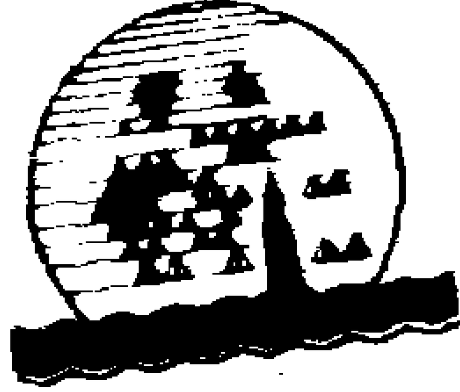
الطبعة الثانية ١٩٩٤

بـول ديڤيس
أستاذ الرياضيات التطبيقية
الكلية الملكية - جامعة لندن

سلسلة الثقافة المميزة
1

العوالم الأخرى

صورة الكون والوجود والعقل والمادة والزمن في الفيزياء الحديثة



ترجمه عن الإنكليزية
د. حاتم النجدي
مركز الدراسات والبحوث العلمية - دمشق

مراجعة
د. أدهم السمّان
أستاذ الفيزياء في كلية العلوم - جامعة دمشق

قدم له
العماد مصطفى طلاس

عـنـوان الـكـتـاب بالـلـغـة الإنـكـليزيـة

OTHER WORLDS

Paul Davies

تقديم الكتاب

عندما أخبرني صديقي الأثير على قلبي، الدكتور واثق الشهيد مدير مركز الدراسات والبحوث العلمية أن صديقنا المشترك، الدكتور عبد الرزاق قدورة، عاكف على ترجمة كتاب فريد في نوعه يحكي قصة «بنى الفيزياء» بتّ انتظر بفارغ الصبر أن أضع يدي على ذلك الكتاب لأقدمه مطبوعاً باللغة العربية للمولعين بالفلسفة المبنية على أسس علمية. ومرت الأيام وأنا أسأل عن الكتاب، وفي كل مرة يأتيني الجواب كما يجيب بائع الكباب في حلب زبائنه قائلاً: (على النار). وأخيراً قلت للدكتور واثق أن صديقنا عبد الرزاق مثل أم العروس (فاضي ــ مشغول) ولدينا من العلماء المقتدرين من يعيننا على الانتظار بتقديم كتاب آخر من نفس القبيل والسوية، فنكون قد أصبنا عصفورين بحجر واحد. وهكذا وصل إلينا هذا الكتاب الذي يحكي قصة «العوالم الأخرى» ويعطي صورة علمية عن الكون والوجود والعقل والمادة والزمن في

الفيزياء الحديثة، وقد اضطلع بترجمته الدكتور حاتم النجدي من مركز الدراسات والبحوث العلمية، وقام بمراجعته الدكتور أدهم السمان أستاذ الفيزياء في كلية العلوم بجامعة دمشق، فأديا عمليهما على نحو مشرف، وسيتأكد القارئ من ذلك بنفسه، وسيعلم أن إطرائي لهما كان عن حق و واجب وليس عن محبة شخصية.

ولم أصدق نفسي عندما أصبح الكتاب بين يدي، هل أنا في حلم أم في حقيقة! وبدأت بقراءته بعد أن استنفرت كل ملكاتي العقلية.. ذلك أن المؤلف، بول ديفيس، أستاذ الرياضيات التطبيقية في الكلية الملكية بلندن هو أحد أبرز من كتب في تبسيط المفاهيم والنظريات الفيزيائية المعقدة وله كتب عديدة ومقالات يشار إليها بالبنان في هذا المجال، وقد ترجم له الدكتور أدهم السمان قبل هذا الكتاب كتاباً عنوانه «المكان والزمان في العالم الكوني الحديث». وأفضل وصف لهذا المؤلف هو أنه «مثل طاس الجن، من أين ما نقرته يرن». ومثل هذه الكتب يجب أن لا تقرأ كما تقرأ

روايات الغرام أو الروايات البوليسية، بل يحتاج فهمها إلى جهد عقلي وتفكير عميق، وبمقدار الجهد المبذول تكون المتعة في القراءة والمعرفة بآن معاً.

ولما كان موضوع هذا الكتاب مشوقاً وجديداً ومثيراً.. فإن المؤلف يأخذ بيدك تارة إلى النجوم الشمسية وأخرى إلى مجرة درب التبانة ثم يصحبك إلى مجرة المرأة المسلسلة ليدفعك أخيراً في أحد الثقوب السوداء حيث لاقيام إلى يوم القيامة!...

قد يبدو لقارئ هذا الكتاب ولمن يفهمه بشكل سطحي أن مؤلف الكتاب ملحد متشكك في وجود الخالق سبحانه وتعالى. ولكن من يتعمق فيما هو مخفي في ثنايا جمله وكلماته سيدرك أن المؤلف يترك مكاناً للخالق في كل ماهو أساسي مما يجهله كبار العلماء، ولاأدل على ذلك من النص التالي الوارد في الفصل التاسع من هذا الكتاب:

«فعلى الرغم من عدم وجود شيء يلفت النظر في موقعنا الحالي من هذا الكون ــ كالحياة على الأرض والمنظومة الشمسية وحتى المجرة نفسها ــ نجد في الكون مصادفات مذهلة حقاً!.

فالنسق الثقالي للمادة كان على ما يبدو ، في فترة الانفجار الأعظم ، على درجة من الانتظام تحير العقل وتستعصي على الفهم . ولئن كانت الأجيال السابقة تتعجب وتندهش من ذلك النسق الدقيق الذي تسير وفقه الأمور على كوكبنا، أصبح الجيل الحالي ينظر إلى هذا الكوكب على أنه نتيجة تلقائية لما هو أكثر عجباً. أما لماذا كان ترتيب الكون كذلك في أثناء الانفجار الأعظم، فهذا ما لا نعلم عنه شيئاً».

أليس في هذه «المصادفات المذهلة حقاً» وفي تلك الدرجة من الانتظام التي «تحيّر العقل وتستعصي على الفهم» وفي هذا الذي «هو أكثر عجباً» وفي «ما لا نعلم عنه شيئاً» متسعات أساسية عميقة تركها المؤلف عن قصد خفي ليفعل فيها الخالق

ما أراد؟! ثم أليس في هذا النص روح مستمدة من روح الآية القرآنية:

﴿إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمٰوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ النَّاسَ وَمَا أَنْزَلَ اللهُ مِنَ السَّمَاءِ مِنْ مَاءٍ فَأَحْيَا بِهِ الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَابَّةٍ وَتَصْرِيفِ الرِّيَاحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاءِ وَالْأَرْضِ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يَعْقِلُونَ﴾ (سورة البقرة، الآية ١٦٤).

إذن فالله سبحانه وتعالى هو الذي خلق الكون على درجة من الانتظام فريدة هي أكبر من علمنا... أليس هو القائل: ﴿إِنِّي أَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُونَ﴾ (سورة البقرة، الآية ٣٠).

ختاماً أود أن أشير إلى أن أكبر عالم فضاء في القرن العشرين، البروفسور الألماني فون براون الذي كان لأعماله أكبر

الفضل في وضع أول رجلين على القمر[1] في مشروع أبولو (٢٠ تموز ١٩٦٩) صرح لوكالات الأنباء وأجهزة الإعلام بعد نجاح مشروعه الكبير رداً على سؤالهم: هل تؤمن بالله؟... فكان جوابه: «كلما ازددت علماً بحقائق الكون... ازداد إيماني بوجود الخالق العظيم».

وأخيراً لابدّ من القول إن هذه الطبعة بمعظمها موجهة إلى القراء المتخصصين.. واعداً القارئ العربي بطبعة ثانية يقوم بشرح المصطلحات العلمية فيها الدكتور عبد الكريم اليافي، عضو مجمع اللغة العربية ونائب رئيس مجلس الأمناء في مشروع معجم العماد. وبذلك أكون قد قدمت شيئاً مفيداً لأمتنا العربية وبخاصة لعلمائنا الذين يجب أن نحرص عليهم حرص الأجفان على العيون، والله من وراء القصد.

الشام في ١١ أيلول ١٩٩٠

العماد

مصطفى طلاس

---

(١) نيل ارمسترونغ ورفيقه أودين الدرين.

مقدمة

على الرغم من أن كلمة الكَمّ (Quantum) أصبحت من المفردات الشائعة اليوم، فإن قلة من الناس على اطلاع ودراية بالثورة التي حصلت في كل من العلم والفلسفة منذ أن ظهرت نظرية الكم (Quantum Theory) في مطلع هذا القرن. فالنجاح الباهر الذي أحرزته هذه النظرية في تفسير الظواهر المتعلقة بالجزيئات والذرات والنوى وسواها من الجسيمات دون الذرية، قد حجب حقيقة أن تلك النظرية ذاتها تقوم على مبادئ مذهلة، لدرجة أن عدداً من العلماء، حتى المتخصصين منهم، لم يدركوا في غالب الأحيان مجمل مضامينها.

لقد حاولت في هذا الكتاب أن أتصدى مباشرة للهزة العنيفة التي أحدثتها مضامين الكم الأساسية في تصورنا للعالم من حولنا. فسلوك الجسيمات المادية الذرية يبلغ من الغرابة بالنسبة لصورة الطبيعة في الحس العام، ما يجعل وصف الظواهر على الصعيد الكمومي يبدو وكأنه آتٍ من رواية خيالية كحكاية أليسْ في بلاد العجائب. على أي حال، ليس الغرض من هذا الكتاب مراجعة واحد من أصعب فروع الفيزياء الحديثة، وإنما التعرض بدلاً من ذلك إلى الأسئلة الكبرى التي طالما شغلت البال وحيرت العقل: ما هو الإنسان؟ ما هي طبيعة الحقيقة؟ هل هذا الكون الذي نعيش فيه مجرد مصادفة، أم هو نتاج عملية انتقاء دقيقة ومحكمة؟.

لقد استحوذت مسألة السبب في البنية الخاصة والانتظام البديع لهذا الكون، على اهتمام رجال اللاهوت لحقبة طويلة من الزمن، لكن ما تم في السنوات الأخيرة من اكتشافات في الفيزياء الأساسية وفي علم الكون، فتح الباب أمام العلم ليدلي بدلوه في الإجابة عن بعض تلك الأسئلة. فنظرية الكم، علمتنا أن العالم لعبة حظ، وأننا من بين المشاركين في هذه اللعبة، وأنه كان من الممكن لعوالم أخرى أن تُنتقى بدلاً من عالمنا، وحتى أنها قد تكون موجودة على التوازي معه أو في منطقة نائية من الزمكان (الزمان ـــ المكان Spacetime).

لا يحتاج قارئ هذا الكتاب إلى معرفة مسبقة بالعلم أو الفلسفة. فعلى الرغم من أن عدداً من المواضيع المطروحة هنا يحتاج إلى شيء من «البهلوانية» الذهنية، فقد حاولت أن أشرح كل فكرة جديدة من الصفر تماماً بأبسط تعبير ممكن. وإذا كانت بعض الأفكار المطروحة تبدو صعبة التصديق، فما ذلك سوى شاهد على عمق التغيير الذي أصاب العلم في نظرته إلى العالم والذي أتى مع التطورات الهائلة التي شهدتها العقود القليلة الماضية.

من قبيل الشكر والعرفان، أود أن أشير إلى المناقشات الممتعة التي أجريتها حول الكثير من مادة هذا الكتاب مع كل من:

Dr. N.D. Birrell, Dr. L.H. Ford, Dr. W.G. Unruh and Professor J.A. Wheeler.

بول ديفيس

تمهيد

الثورة المغمورة

غالباً ما تكون الثورات العلمية مصحوبة بإعادة النظر في البنية الأساسية للتصورات البشرية . فدعوى كوبرنيكوس (Copernicos) بأن الأرض ليست مركز الكون ، أدت إلى انهيار عقائد دينية سادت قروناً طويلة ، ونظرية داروين (Darwin) في التطور قضت على الوضع البيولوجي المتميز الذي أضفاه الإنسان على نفسه ؛ واكتشاف هَبْل (Hubble) بأن مجرة درب التبانة ليست سوى واحدة من مليارات المجرات المنتشرة في الكون المتسع باضطراد ، فتح نافذة جديدة على العالم السماوي الفسيح . لكنه من اللافت للنظر أن أعظم ثورة في تاريخ العلم ما زالت مجهولة لدى معظم الناس ، لا لأنها ذات مضامين تافهة ، بل لأن هذه المضامين بدت مذهلة لدرجة لا تكاد تصدق ، حتى لرجال العلم الثوريين أنفسهم .

لقد حدثت الثورة التي نحن بصددها بين عامي ١٩٠٠ و١٩٣٠ ، ورغم مرور أكثر من خمسين عاماً على اندلاعها فإن الجدل ما يزال محتدماً حول كنه الشيء الذي تم اكتشافه . فالنظرية التي عرفت باسم ميكانيك الكم ، بدأت بمحاولة تفسير بعض المظاهر التقنية للفيزياء الذرية ، ومنذئذ ، تطورت هذه النظرية واتسعت لتشمل معظم مجالات المكروفيزياء الحديثة ، من الجسيمات العنصرية إلى اللازرات ، ولا يوجد اليوم من يشك في صحتها . لكن ما يثير الجدل يتمثل في

النتائج المريعة التي تنبع منها وفي ما يمكن أن تعنيه هذه النتائج . فلو أخذنا النظرية بحرفيتها ، فإنها تقود إلى أن العالم الذي نعيشه ، أي العالم الذي ندرك ونعي ، ليس العالم الوحيد الممكن . فعلى التوازي معه ، هناك ما لا يعد ولا يحصى من العوالم الممكنة ، بعضها مطابق تقريباً لعالمنا ، وبعضها الآخر مختلف كلياً ، وجميعها مأهولة بعدد هائل من النسخ المشابهة لنا ، مُشكِّلة منظومة عملاقة من العوالم الحقيقية المتوازية .

لتحاشي شبح « الانفصامية » المرعب لهذا الكون ، والمتمثل في التفسير المذكور ، يمكن أن نجد للنظرية تفسيراً آخر أكثر حذقاً ، على الرغم من أن نتائجه ليست أقل ترويعاً للذهن البشري من سابقه . هنا ، لا ينظر إلى العوالم الأخرى على أنها حقيقية وموجودة ، وإنما على أنها بدائل منافسة كان يمكن أن تحدث ، لكنها فشلت في الظهور إلى الوجود . إلا أن إخفاق هذه العوالم لا يعني إمكانية تجاهلها ، ذلك أنه من القضايا المركزية في نظرية الكم أن العوالم البديلة ليست منفصلة تماماً عن عالمنا ، فهي تتداخل معه وتتفاعل مع مكوناته ، وهذا ما يمكن التأكد منه تجريبياً . وسواء كانت تلك العوالم حقيقية أم شبحية ، فإن عالمنا ليس في الواقع سوى شريحة بالغة الصغر من مجموعة هائلة من الأكوان الممكنة : الفضاء العظيم (Super Space) . في الفصول القادمة ، سوف نشرح ماهية هذا الفضاء العظيم ، كيف يعمل وما هو موقعنا فيه .

إن الاعتقاد السائد بين الناس هو أن العلم يساعد في بناء صورة للحقيقة الموضوعية (Objective Reality) أي للعالم الفيزيائي المحيط بنا . لكن بظهور نظرية الكم ، يبدو أن مفهوم الحقيقة ذاته بدأ يهتز لينهار ويحل محله شيء ثوري وغريب لدرجة أن نتائجه لم يتم التصدي لمواجهتها حتى الآن . فكما سنرى فيما بعد ، إما أن يقبل المرء بحقيقة العوالم المتوازية أو أن ينكر كلياً وجود أي عالم حقيقي ، بصرف النظر ، عن إدراكنا له . ذلك أن التجارب المخبرية التي أجريت في السنوات الأخيرة أظهرت أن الذرات والجسيمات النووية التي ينظر الناس إليها على أنها أشياء مجهرية ، ليست أشياء حقيقية ، أي ليس لها وجود مستقل وهوية

محددة. لكن العالم الفيزيائي من حولنا، بما فيه نحن جميعاً، مؤلف من ذرات: فهل يعني هذا أن هوية العالم الذي نعيشه ستكون في مأزق؟.

تشير الدراسات إلى أن الحقيقة — إن كان لهذه الكلمة من معنى — ليست خاصة من خصائص العالم الفيزيائي المتأصلة فيه، وإنما ترتبط ارتباطاً وثيقاً بإدراكنا لهذا العالم، أي بوجودنا فيه كمراقبين واعين. ربما كان هذا الاستنتاج ينطوي أكثر من أي شيء آخر على الأهمية العظمى لثورة الكم. فخلافاً للثورات العلمية الأخرى التي عزلت الإنسان عن مركز الكون وجعلت منه مجرد شاهد ومتفرج على المسرحية الكونية، أعادته نظرية الكم إلى موقع المراقب الفعال على خشبة مسرح الأحداث. وفي الواقع، ذهب بعض العلماء المرموقين إلى درجة الادعاء بأن نظرية الكم قد حلت لغز العقل وعلاقته بالعالم المادي، زاعمين أن دخول المعلومات إلى حيز الإدراك لدى المراقب، يمثل الخطوة الأساسية في بناء الحقيقة. وبالذهاب مع هذه الفكرة إلى أقصى مداها، نجد أنها تتضمن أن الكون لا يصل إلى الوجود الفعلي إلا من خلال إدراكنا له: إنه يُخلق من قبل ساكنيه!.

سواء كانت هذه الأفكار العجيبة مقبولة أم لا، فإن معظم الفيزيائيين يبدون متفقين على أن المادة، في السوية الجزيئية والذرية على الأقل، تظل معلقة في حالة من اللاحقيقة إلى أن تُجرى عليها عملية قياس أو رصد. سوف نتعرض فيما بعد بالتفصيل لهذه الحالة التي تتسمر فيها الذرات حائرة بين العديد من العوالم، لا تدري إلى أيها تنضم، وسوف نطرح السؤال حول ما إذا كانت حالة الأعراف* هذه مقتصرة على المجال الذري أم أنها يمكن أن تخرج إلى المختبر وتنفذ إلى الكون الفسيح. سوف نتعرض لمفارقة قطة شرودنغر (Shrodinger's Cat) ولمفارقة صديق ويغنر (Wigner's Friend)، حيث يوضع رجل في حالة يبدو فيها حياً — ميتاً ويطلب منه أن يعبر عن مشاعره، محاولين بذلك استقصاء طبيعة الحقيقة.

* سور بين الجنة والنار يقف عنده من لم يتقرر مصيره بعد. (المُراجع)

يحتل مبدأ الارتياب (Uncertainty Principle) الموقع المركزي في نظرية الكم، خاصة على مستوى الجسيمات الذرية. لكن على النقيض من الارتياب، يوجد لدى الإنسان ميل شديد نحو الاعتقاد بالحتمية (Determinism)، أي بوجود سبب سابق لكل حدث لاحق، وبخضوع جميع الظواهر الكونية إلى جملة من النواميس والقوانين المحددة، التي تعود جذورها في العمق إلى العديد من الأديان التي تشكل أساساً لها. كان ألبرت آينشتاين يعتقد بالحتمية اعتقاداً راسخاً طوال حياته، ولم يكن بإمكانه قبول نظرية الكم بشكلها المعتمد، وذلك بسبب اعتماد هذه النظرية على حشر عنصر من الصدفة في الطبيعة وفي أعمق سوياتها. جميعنا يعلم أن الحياة لعبة حظ وأننا لا نستطيع مطلقاً التنبؤ بدقة بمستقبل منظومة معقدة ما، ومع ذلك فإن معظم الناس يعتقدون أن العالم الذي نعيشه قابل، من حيث المبدأ، لأن نتنبأ بأحداثه لو كنا نملك ما يكفي من المعلومات عنه. لقد اعتاد الفيزيائيون على الاعتقاد بأن الذرات أيضاً تذعن للقوانين وتتصرف وفق منظومة نشاط مضبوطة، وقبل قرنين من الزمن، أعلن بيير لابلاس (Pierre Laplace) أنه لو توفرت معلومات عن الحالة الحركية لكل ذرة من ذرات الكون لأمكن تحديد مستقبل الكون بالكامل.

لقد أظهرت الاكتشافات التي حصلت في الربع الأول من هذا القرن أن للطبيعة جانباً متمرداً على الحتمية. فقد تبيّن أن في بنية هذا الكون عنصراً من العشوائية يدمر مبدأ التنبؤ القائم على الإيقاع المحدد والمنتظم ويغرق العالم الذري في متاهة من الارتياب المطلق. أي أن قوانين الاحتمال وحدها هي التي تحكم العالم الصّغري المضطرب. وعلى الرغم من احتجاج آينشتاين بأن الله لا يلعب النرد، يبدو أن هذا الكون ليس سوى لعبة حظ، وأننا فيه من اللاعبين لا من المتفرجين فحسب. على كل حال، فإن حل مسألة وجود العوالم الأخرى، هو الذي سيقرر ما إذا كان الله هو الذي يرمي حجر النرد أم نحن.

مصادفة أم اختيار؟ هل الكون الذي نعيشه وندركه حدث عرضي، أم أننا اخترناه من بين مجموعة هائلة من الأكوان المحتملة؟ ليس لدى العلم بالتأكيد مهمة عاجلة أكثر من اكتشاف ما إذا كان العالم من حولنا ـــ بما فيه من تركيب

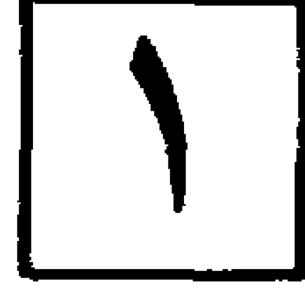
للمادة والطاقة ومن قوانين تحكمهما ومقادير قدرت لهما ــــ مجرد عارض طارئ؟ ، أم أنه نظام عميق المغزى ، نشكل ــــ نحن ــــ منه جزءاً أساسياً لا يتجزأ . سوف نتعرض في الفصول الأخيرة من الكتاب لهذا الموضوع بالتفصيل على ضوء فيزياء النجوم وعلم الكون ، وسوف نبرهن بالحجة الواضحة على أن كثيراً من خصائص الكون التي نرى لا يمكن أن تنفصل عن حقيقة أننا أحياء نلاحظها ونراها ، ذلك أن الحياة ذاتها تمثل نقطة التوازن الحرج في ميزان المصادفات . فإذا كانت فكرة العوالم المتعدد المتوازية مقبولة ، فإننا نحن ــــ كمراقبين واعين في هذا الكون ــــ نكون قد اخترنا ، من خلال وجودنا ، زاوية صغيرة معزولة في الفضاء العظيم ، ذات خصائص مختلفة كلياً عما لبقيته : واحة خضراء في صحراء قاحلة . هنا يظهر السؤال الفلسفي التالي : لماذا تحتوي الطبيعة على هذا الحجم الهائل من الحشو والزيادة في بنيتها ؟ لماذا يكون هناك ما لا يحصى من العوالم التي لا يُدرك منها إلا القليل ؟ من ناحية أخرى ، وإذا كانت العوالم الأخرى مجرد أشباح ، فإننا يجب أن ننظر إلى وجودنا أصلاً على أنه معجزة حصلت باحتمال ضئيل لدرجة لا تصدق . إن الحياة في هذا المنظور ، مصادفة أقل احتمالاً مما نستطيع أن نتصور .

إن خاصية الارتياب المتأصلة في الطبيعة ليست مقتصرة على المادة فقط ، بل تتعداها لتحكم أيضاً بنية الزمان والمكان ، وسوف نرى فيما بعد أن هذين الشيئين ، الزمان والمكان ، ليسا مجرد خشبة مسرح تجرى عليهما المسرحية الكونية ، بل أنهما ينتميان إلى مجموعة الممثلين ، وبمقدورهما أن يغيرا من شكليهما وامتداديهما ؛ وعلى غرار البنية الصغَرية للمادة ، فإن حركتهما عشوائية واعتباطية إلى حد ما . سوف نرى أن الحركة العشوائية للزمان والمكان في سلم الصِّغريات المجهرية يمكن أن تمزقهما لتحيلهما إلى ما يشبه الزبد والرغوة المليئين بالثقوب والجسور .

يرتبط مفهوم الزمن في خبرتنا بإدراكنا لمفهوم الحقيقة ارتباطاً وثيقاً ، وكل محاولة منا لفهم واستيعاب العالم الحقيقي لا بد أن تصطدم مع مفارقات مفهوم الزمن . فاللغز المحيِّر هنا هو أن الزمن ــــ مهما كانت صورته في أذهاننا ــــ لا يجرى

ولا يمر ، وأنه ليس هناك ماض ولا حاضر ولا مستقبل . إن هذه المقولات مذهلة حقاً ، إلى درجة أن المتخصصين أنفسهم يعيشون نوعاً من الحياة المزدوجة ؛ فهم يقبلونها ضمن مخابرهم ، ويرفضونها بدون وعي في حياتهم اليومية . إن مفهوم الزمن الذي يجري ليس له معنى حتى في الحياة اليومية ، على الرغم من أنه يسود ويسيطر في كلامنا وتفكيرنا وتصرفاتنا ؛ ولربما كانت هذه الفكرة هي التي ستؤدي في النهاية إلى حل اللغز الذي يكتنف الزمن والعقل والمادة .

إن معظم المواضيع التي يتعرض لها هذا الكتاب أغرب من الخيال ، لكن الأمر الهام فيها ليس غرابتها ، وإنما إعراض المتخصصين بها ، على الرغم من معرفتهم لها منذ مدة غير قصيرة ، عن إيصالها إلى جمهور الناس . ولعل السبب في ذلك يعود إلى طبيعة التجريد غير العادي في نظرية الكم ، بالإضافة إلى الحاجة إلى رياضيات متقدمة جداً لعرضها . لا شك أن كثيراً من المواضيع المطروحة في الفصول القادمة سوف تضع خيال القارئ موضع الاختبار ، لكن الأهم من هذا هو أن هذه الطروحات على درجة كبيرة من الأهمية لنا جميعاً وتستدعي المحاولة الجادة لردم الهوة في سبيل فهمها .



من يلعب النرد

في مطلع العشرينيات من هذا القرن، ابتدأ الفيزيائي الأمريكي كلينتون ديفيسون (Davisson) سلسلة من التجارب في مخابر شركة بل، حيث كان يتم قذف بلورات معدن النيكل بحزمة من الالكترونات تشبه الحزمة التي تستخدم لتشكيل الصورة على شاشة التلفزيون؛ وقد لاحظ ديفيسون في هذه التجارب أنماطاً غريبة لانتثار الالكترونات عن سطح بلورات النيكل، إلا أنه لم يتمكن حينئذ من فهم المغزى الكبير لأنماط هذه الانتثار. بعد سنوات، وفي عام ١٩٢٧، أعاد ديفيسون التجربة في شروط محسنة بالتعاون مع زميله لستر جرمر (Lester Germer)، وظهرت أنماط الانتثار ثانية في صورة أكثر وضوحاً وجلاءً، لكن الأهم من ذلك، هو أن هذه الأنماط كانت قد أصبحت متوقعة على أساس نظرية هامة جديدة في المادة تم تطويرها في منتصف العشرينيات. لقد لاحظ المجربان مباشرة ولأول مرة ظاهرة أدت فيما بعد إلى انهيار معتقدات علمية سادت قروناً طويلة، وقلبت رأساً على عقب مفهوم الحقيقة وطبيعة المادة ورؤيتنا لها. لقد كانت الثورة التي نتجت في عالم المعرفة عميقة وذات مضامين عجيبة إلى درجة أن ألبرت آينشتاين ــ ولعله ألمع عالِم عرفه التاريخ ــ رفض قبول بعضها طوال حياته.

تُعرف النظرية الجديدة اليوم بميكانيك الكم (Quantum Mechanics)، وسوف نستقصي فيما بعد مضامينها المذهلة حول طبيعة الكون ودورنا فيه. إن ميكانيك الكم ليس مجرد نظرية تأملية لخصائص العالم الصُغْري، وإنما هو إطار عمل رياضي متكامل يتناول معظم مجالات الفيزياء الحديثة، وبدونه لا يتاح لنا أن نفهم بالتفصيل الذرات والجزيئات والبلورات والضوء والكهرباء واللازر

والترانزستور ... الخ . لكن وعلى الرغم من أنه ليس بين العلماء اليوم من لديه أدنى شك في صحة النظرية ، فإن المعنى الحقيقي لمضامينها الفلسفية ما يزال موضوع جدل حتى بعد مضي خمسين عاماً على اكتمالها . ولكي نتمكن من فهم الآثار العميقة لهذه النظرية ، لا بد أولاً من التعرف على الصورة التقليدية للطبيعة كما رآها العلماء منذ القرن السابع عشر على الأقل .

في الأيام القديمة ، عندما بدأ الإنسان بالتعجب من ظواهر الطبيعة التي كانت تحيط به ، بدت له صورة الكون بشكل مختلف كلياً عما نراه اليوم . لقد أدرك حينئذ أن لبعض الأحداث الطبيعية طابعاً منتظماً وأن بعضها يعتمد على بعض ، كالأيام والفصول وتغير شكل القمر وحركة النجوم ، في حين أن ظواهر أخرى كانت اعتباطية وعشوائية كالعواصف والزلازل والبراكين . فكيف نظم الإنسان ملاحظاته ومعرفته تلك في محاولته لفهم الطبيعة؟ في بعض الحالات ، كان هناك تفسير واضح للحدث الطبيعي ، كحرارة الشمس التي تؤدي إلى ذوبان الثلوج ، إلا أن المفهوم الدقيق للسبب والمفعول لم يكن متبلوراً بشكل جيد ، والحق أنه كان من الطبيعي جداً حينئذ أن يتخذ الإنسان من نفسه ، التي كان يفهمها أكثر من غيرها ، نموذجاً لقياس مظاهر الطبيعة عليها . وفي الواقع ، ليس صعباً أن نرى كيف راح الإنسان ينظر إلى الطبيعة على أنها مظهر مزاجي أكثر منها واقع سببي . فالأحداث الدورية والمترابطة عكست جانب الخير في حياته وعمله ، في حين أن المظاهر الطبيعية المفاجئة كانت تُرى على أنها نتاج لمزاجية سيئة غاضبة . وكنتيجة لذلك ظهر التنجيم الذي ربط العالم العلوي بنزعات الإنسان ومزاجيته في نظام واحد .

في بعض المجتمعات القديمة ، تبلورت الأنظمة المزاجية بشكل واضح بعض الشيء ، وغدت شخصيات فعلية محددة . فقد كانت هناك روح للنار وروح للنهر وأخرى للغابة ... الخ . وفي المجتمعات الأكثر تطوراً ، كان هناك تسلسل هرمي لآلهة ذات خصائص إنسانية ؛ فالشمس والقمر والكواكب — حتى الأرض نفسها — كان ينظر إليها على أنها ذات شخصيات مشابهة للإنسان ، والأحداث التي اقترنت بها كانت انعكاساً لأحاسيسه ومشاعره ورغباته . فعبارة الآلهة غاضبة مثلاً ، كانت تكفي لتفسير كارثة طبيعية تستوجب تقديم الضحية المناسبة .

على التوازي مع هذه التطورات ، ظهرت مجموعة من الأفكار الجديدة التي انبثقت مع تطور المدن ونشوء الدول ، وأصبح على مواطني هذه التجمعات الحضارية الانصياع إلى مجموعة صارمة من الأحكام التي تحولت فيما بعد إلى قوانين ترعاها وتسهر عليها مؤسسات خاصة . وفي الوقت نفسه ،

كانت للآلهة أيضاً قوانينها ، وكنتيجة لقدراتها العظيمة وسلطتها الكبيرة ، فقد أضْفَت بدورها الشرعية على نظام القوانين الإنسانية عن طريق وسطائها الممثلين بالرهبان والكهنة . وفي حضارة اليونان الأولى ، أصبح مفهوم الكون ذي النواميس الثابتة متقدماً جداً ، وبدأ تفسير بعض الظواهر الطبيعية الشائعة ، كسقوط حجر مثلاً ، يُعطى صيغة محددة كقانون محكم من قوانين الطبيعة . لقد أتى هذا المفهوم الجديد للظواهر الطبيعية التي تتصرف وفق قوانين محددة ، ليقف على الطرف النقيض تماماً مع الفكرة السابقة عن الكون المحكوم بالمزاجية ذات الدوافع والنزعات الإنسانية . أما الظواهر الهامة ــ كالدورات الفلكية ومسألة الخلق ــ فقد بقيت طبعاً تستدعي رعاية الآلهة . وفيما بعد ، وعندما تأصلت فكرة الجملة الفيزيائية التي تتطور آلياً وعلى وفاق مع جملة من المبادئ الأساسية الطبيعية ، كان لا بد من انحسار التفاسير الغيبية تدريجياً ، فأخذت بالتراجع المضطرد مع الاكتشافات المتتالية للمبادئ الجديدة .

وعلى الرغم من أن تقهقر التفسير اللاهوتي للعالم الفيزيائي ليس تاماً حتى الآن ، فإن الخطوة الحاسمة في تأكيد سلطة القوانين الفيزيائية أتت بمعظمها مع العالمين اسحق نيوتن و تشارلز داروين . ففي القرن السادس عشر ، بدأ العبقري الكبير غاليليو غاليلي ما يمكن أن نسميه اليوم سلسلة من التجارب المخبرية التي كانت تعتمد على المبدأ الأساسي الذي يقول بأنه كلما كان بالإمكان عزل جزء من العالم الفيزيائي عن التأثيرات المحيطة به كان ذلك الجزء حر التصرف بأسلوب بسيط للغاية . إن هذا الاعتقاد بوجود البساطة في صميم التعقيد كان الحافز القوي وراء الفضول العلمي الذي استمر طويلاً وما يزال قائماً حتى الآن ، على الرغم من الهزة العنيفة التي تلقاها مؤخراً ، كما سنرى فيما بعد .

إحدى التجارب الشهيرة التي قام بها غاليليو كانت مراقبة حركة الأجسام في أثناء سقوطها الحر نحو الأرض . إن هذا السقوط حادثة معقدة جداً تعتمد على وزن الجسم وشكله وتوزع كتلته والحركة الداخلية فيه بالإضافة إلى سرعة الريح واتجاهها وكثافة الهواء ... الخ . لقد تجلت عبقرية غاليليو هنا في إدراكه أن هذه العوامل كلها ليست سوى تعقيدات دخيلة على ما هو في الواقع قانون بسيط جداً . فبإنقاص أثر مقاومة الهواء ، وذلك باستخدام أجسام ذات أشكال منتظمة ، وبدحرجتها على سطح مائل (بدلاً من إسقاطها مباشرة) لتخفيف أثر الثقالة الأرضية عليها ، تمكن غاليليو من إزالة التعقيد واستخلص القانون الأساسي لسقوط الأجسام . إن ما فعله غاليليو هو قياس الزمن اللازم لسقوط الأجسام مسافات مختلفة . يعتبر مثل هذا الإجراء أمراً عادياً وبسيطاً هذه

الأيام ، إلا أنه كان يمثل عملاً عبقرياً في القرن السابع عشر . فمفهوم الزمن في تلك الأيام كان مختلفاً كلياً عنه في أيامنا هذه ، ذلك أن المفهوم الرياضي للمرور المنتظم للزمن لم يكن مقبولاً حينئذ . إن مفهوم الفترة الزمنية كان أقرب إلى الصورة القديمة له ، وكان يستمد شرعيته وثباته من الإيقاع الطبيعي في جسم الإنسان وفي الفصول ودورات الكواكب بدلاً من الإيقاع الميقاتي الدقيق. وباكتشاف أمريكا ، وبإقامة خطوط ثابتة للملاحة عبر الأطلسي ، ظهر ضغط ــ عسكري واقتصادي ــ كبير للبحث عن وسائل وإجراءات ملاحية أكثر دقة . وبعد ذلك بقليل ، أصبح من الممكن تحديد موقع سفينة في المحيط بالاعتماد على التحديد الدقيق لموقع نجم في السماء مع القياس الدقيق للزمن ، وبدأت بذلك المراصد الحديثة بالظهور ، و وُلد علم الفلك الموضعي الحديث مترافقاً مع اختراع الميقاتيات الأكثر دقة .

على الرغم من أن غاليليو كان متقدماً بأكثر من جيل على نيوتن الذي صاغ مفهوم الزمن الرياضي الصحيح المطلق ، وبما يقارب القرنين على عهد الجداول الزمنية لتحركات القطر على السكك الحديدية التي أدخلت هذا المفهوم في الحياة اليومية للإنسان العادي ، فقد تمكن من تحديد الدور الأساسي لمفهوم الزمن في وصفه لظاهرة الحركة . لقد تجلى إبداعه باكتشافه للقانون البسيط التالي : إن الزمن اللازم لسقوط جسم ما مسافة معينة ، بدءاً من السكون ، يتناسب تماماً مع الجذر التربيعي لتلك المسافة . وبذلك وُلد العلم بشكله الحديث ، وأتى عهد الصيغ الرياضية التي تحكم تصرفات الجمل الفيزيائية .

لقد كان أثر هذه التطورات عظيماً للغاية ، فالصيغة الرياضية للقانون الطبيعي لا تقتصر على البساطة والشمولية فحسب ، بل هي أيضاً وسيلة للتنبؤ بتصرفات الجمل الفيزيائية في المستقبل . إنها تعني أنه ليس من الضروري دائماً مراقبة العالم لمعرفة كيف يتصرف : فالمرء يمكنه حساب ذلك على الورق بالقلم؛ وباستخدام الرياضيات لنمذجة القوانين الطبيعية ، يمكن التنبؤ بتصرفات العالم في المستقبل ، كما يمكن حساب كيف كان يتصرف في الماضي السحيق .

هناك بالطبع الكثير في هذا الكون غير سقوط الأجسام ، والأثر الفعلي لهذه الأفكار الثورية الجديدة بقي بانتظار اكتشافات نيوتن الكبيرة في أواخر القرن السابع عشر . لقد ذهب نيوتن إلى أبعد مما ذهب إليه غاليليو ، وطوَّر بالتفصيل منظومة ميكانيك شامل قادر على التعامل ــ من حيث المبدأ ــ مع الحركة بكل أشكالها ... ونجحت هذه المنظومة . لكن النظرة الجديدة للفيزياء تطلبت

أيضاً تقدماً جديداً في الرياضيات لتصف القوانين التي اكتشفها نيوتن، فتم اختراع التفاضل والتكامل؛ ومرة أخرى لعب الزمن دوراً مركزياً في رفع وتيرة هذه التطورات: بأي مقدار يغير جسم سرعته تحت تأثير قوة مطبقة عليه؟ ما هي سرعة تغير القوة عندما يأخذ منبعها بالتجوال والحركة؟ لقد كانت هذه هي نوعية الأسئلة التي كان على الرياضيات الجديدة أن تجيب عنها: إن ميكانيك نيوتن هو وصف للتغير وإعادةُ ترتيبٍ للعالم تبعاً لجريان الزمن.

وكنتيجة لهذا التوجه الجديد في طريقة التفكير، بدأت تظهر أنماط جديدة من الأسئلة حول الكون الذي يشكل فيه كل من التغير والزمن عنصرين لا يتجزآن. ففي حين كان التوازن والاستقرار ــ هاتان الخاصتان المتعلقتان مباشرة ببقاء الإنسان والكائنات الحية الأخرى ــ هما محور الاهتمام في الحضارات القديمة، أتى ميكانيك نيوتن ليؤكد على الصفة الدينامية للطبيعة. لقد بقيت حضارات ما قبل النهضة حضارات سكونية لا متغيرة، همها الوحيد هو الحفاظ على الوضع القائم على ما هو عليه، إلى أن أدخل غاليليو و نيوتن، و داروين فيما بعد، المفهوم الحاسم للتغير والتطور في نظرة الإنسان إلى الطبيعة. وكالمعتاد في تطورات الفكر الإنساني، أدى هذا المفهوم إلى تغير جذري في مواقف الإنسان بدلاً من أن يكون مجرد إضافة معلومات جديدة، وهذا هو بالضبط ما يقود عادة إلى الثورة وما يفتح الطريق أمامها. لقد كان اهتمام الحضارات القديمة محصوراً في كيفية تجنب غضب إله العاصفة لضمان محصول جيد، في حين أن نيوتن توجه برياضياته إلى نوع جديد كلياً من المسائل: بافتراض حالة آنية ما لجملة فيزيائية معينة، كيف سيكون تغير هذه الحالة في المستقبل؟ ما هي الحالة النهائية التي ستنتج عن مجموعة الشروط الابتدائية التي تمثل حالة الجملة في لحظة ما؟.

وترافقت هذه التطورات الفكرية مع تبدلات اجتماعية أيضاً: الثورة الصناعية، والبحث المنهجي عن المعرفة الجديدة والتكنولوجيا، وفوق ذلك جميعاً أمر يعتبر مفروغاً منه اليوم: مجتمع متقدم نحو حياة أفضل ومسيطر على الطبيعة من حوله. إن الانتقال من المجتمع السكوني المحكوم بنزعات ومزاجية غيبية إلى مجتمع دينامي يسعى إلى السيطرة على الطبيعة، يدين بالكثير إلى الميكانيك الجديد ورؤيته الثورية لمفهوم التطور الزمني.

هناك فكرة هامة أخرى أجلاها ميكانيك نيوتن بوضوح؛ إنها مفهوم المستقبل البديل، وهي فكرة مركزية في موضوع هذا الكتاب. إن استيعاب ذلك المفهوم يتطلب معاينة دقيقة لما يمكن أن يعنيه قانون الطبيعة الرياضي. فكما قدمنا، بيّن غاليليو و نيوتن أن حركة الأجسام المادية ليست

اعتباطية ولا عشوائية، وإنما هي محكومة برياضيات بسيطة. فبتوفر المعلومات الكافية عن حالة الجسم ومحيطه في لحظة ما، يمكن ــ من حيث المبدأ على الأقل ــ حساب كامل تصرفات الجسم في المستقبل (وفي الماضي أيضاً)، والتجارب الدقيقة تؤكد أن هذا صحيح. إن روح هذه الفكرة هي أنه لا يمكن للعالم الفيزيائي أن يتغير اعتباطياً، وإنما عليه أن يتبع مسارات تطور محددة مرسومة ومحكومة بالقوانين. قد لا يكون هذا واضحاً لنا في حياتنا اليومية، وما ذلك إلا لأن هذا الكون مليء وغني بالمتغيرات التي لا حصر لها.

إن التوفيق ما بين تلك التعقيدات في الجمل الفيزيائية وإذعانها للقوانين موجود في شكل الرياضيات المستخدمة وفي ارتباطها بالمعلومات اللازمة عن حالة الجملة في لحظة بدئية ما، أي بما يدعى عادة بالشروط البدئية. لتوضيح ذلك بدقة، يمكن إيراد المثال الواقعي المتمثل بقذف الكرة. لقد علّمنا نيوتن أن مسار القذيفة ليس مساراً اعتباطياً وإنما هو منحن محدد تماماً وشكله مطابق لما تقتضيه قوانين نيوتن الرياضية. بالتأكيد، سيكون العالم مُمِلاً جداً ــ وخاصة بالنسبة للاعبي الكرة ــ إذا كان على جميع الكرات المقذوفة أن تسلك المسار نفسه، ونحن نعلم أن هذا لا يحصل طبعاً. فالواقع أن قوانين نيوتن لا تحدد مساراً وحيداً فقط، وإنما تُعرِّف جملة من المسارات التي تسلك الكرة المقذوفة واحداً منها، وكل كرة ــ في المسألة موضوع اهتمامنا ــ تتبع مساراً على شكل قطع مكافئ (القطع المكافئ هو ما نحصل عليه لدى قطع مخروط بمستو مواز لوجهه الآخر). إن عدد القطوع المكافئة الممكنة لا نهائي، فهناك قطوع مكافئة عالية وضيقة (نحصل لدى قذف الكرة شاقولياً تقريباً وعودتها إلى الأرض). وهناك القطوع المكافئة المنخفضة المفلطحة (كتلك التي تسير وفقها كرة القدم المقذوفة بزاوية صغيرة مع الأفق)، وهناك قطوع مكافئة ما بينهما. لكن التجربة تبين أنه يمكننا في الواقع التحكم بشكل المسار، وذلك بطريقتين مختلفتين: يمكن أن نحدد حجم القطع تبعاً للسرعة التي نقذف بها الكرة، ويمكننا تغيير شكله تبعاً لزاوية القذف. وعلى هذا، فإن اتباع الكرة المقذوفة لواحد من مسارات القطوع المكافئة هو قانون فيزيائي، إلا أن أيّها سيكون المسار الفعلي، فهو أمر يتحدد بشكل وحيد بعاملين بدئيين مستقلين كلياً فيما بينهما هما سرعة القذف وزاويته. يدعى هذان العاملان بالشرطين البدئيين.

ليس الغرض من الإسهاب في مسألة القذائف البسيطة إلا توضيح أن هناك في الطبيعة أموراً أخرى غير القوانين تحكم حركة الأجسام: إنها الظروف البدئية. الآن، وبعد هذا التوضيح، يمكننا أن نُعرِّف المسألة الخاصة بطبيعة المعلومات اللازمة لتحديد تصرف جسم ما تبعاً لقوانين نيوتن.

فأولاً، على المرء أن يعرف شدة واتجاه جميع القوى المؤثرة على الجسم وكيفية تغيرها مع الزمن، وثانياً، عليه أن يحدد موضع الجسم وسرعته في لحظة معينة. وبتوفر هذه المعطيات كافة، تتقلص المسألة إلى مجرد إجراء عمليات رياضية لحساب موضع الجسم وكيفية حركته في لحظة زمنية لاحقة.

أحد مظاهر النجاح الباهر والمبكر لقوانين نيوتن كان في قدرتها على تفسير أشكال مدارات الكواكب وأدوارها في المنظومة الشمسية. إن هذه الكواكب، بما فيها الأرض، مقيدة في مداراتها حول الشمس بفضل حقل ثقالتها، ولكي يتمكن نيوتن من حساب حركة تلك الكواكب، كان عليه أن يعرف كلاً من شدة واتجاه الجاذبية الثقالية للشمس في كل نقطة من نقاط الفضاء المحيط بها، كما كان عليه أن يعرف الظروف البدئية الممثلة بمواضع وسرعات كل من تلك الكواكب في لحظة محددة. لقد كان الحصول على المعلومات الأخيرة أمراً سهلاً وذلك عن طريق الرُّصاد الذين يرصدون الأفلاك بشكل دوري، أما الجاذبية الثقالية فقد كانت شيئاً آخر تطلب منه العودة للإمعان بما حصل عليه غاليليو من قبل عن ثقالة الأرض؛ واستطاع نيوتن تعميم نتائج غاليليو، ومن ثم التنبؤ وبشكل صحيح، بأن الشمس، وجميع الأجسام السماوية الأخرى، تتمتع بقوة ثقالية تتضاءل شدتها مع المسافة حسب قانون رياضي بسيط ودقيق، هو ما يعرف بقانون التناسب التربيعي العكسي. بذلك يكون نيوتن قد تمكن من وضع الصيغة الرياضية لكل من الحركة والثقالة، وبدمج القانونين معاً، وبإجراء الحسابات، أحرز نيوتن نصره العظيم في تفسير مدارات الكواكب. واستمر بعدئذ تطبيق تلك القوانين على المنظومة الشمسية المرة تلو الأخرى، وفي كل مرة كان يتم الحصول على نتائج أدق وأفضل وذلك بإدخال عناصر إضافية جديدة في الحسابات، كالآثار الضئيلة لقوى الثقالة الفاعلة بين الكواكب بالإضافة إلى أشكال هذه الكواكب وتشوهاتها وسرعات دورانها حول نفسها... الخ. وكان أحد التطبيقات الشائعة لهذه الحسابات هو التنبؤ الدقيق بمواعيد الخسوف والكسوف المستقبلية، علاوة عن تحديد تواريخ وقوع هاتين الحادثتين في الماضي.

لقد كان تطبيق ميكانيك نيوتن على المنظومة الشمسية أكثر من مجرد تمرين رياضي، ذلك أنه نسف قروناً طويلة من الاعتقاد بأن السماء محكومة بقوى غيبية سماوية لا يمكن، وحتى لا يجوز، فهمها. فقد كان هذا الميكانيك استعراضاً حقيقياً لم يعرفه التاريخ من قبل لقدرة العلم القائمة على القوانين الرياضية، والتي تضمنت أن قوانين الطبيعة ليست مقتصرة على الحوادث البسيطة على الأرض فقط، كالتنبؤ بمسار جسم مثلاً، وإنما تتعداها لتحكم بنية الكون بكامله، مُغيِّرة بذلك رؤية الإنسان للعالم من حوله ولمكانه ودوره فيه. إن المضامين الفلسفية للثورة النيوتنية تتجلى بوضوح عندما

يأتي الأمر إلى تطبيق القوانين الجديدة على مدى الكون كله . فحسب هذه القوانين ، تتحدد تماماً حركة كل جزيء وكل ذرة من المادة — من حيث المبدأ على الأقل — وبشكل مطلق ، على مدى الزمان بكامله ، في الماضي والحاضر والمستقبل ، وذلك بالقوى المؤثرة عليها وبالشروط البدئية المحيطة بها في لحظة معينة . أما القوى الفاعلة بين جزيئات المادة وذراتها ، فتتحدد بدورها بتوزع المادة وحركتها . ومن هذا ينتج أنه لو توفرت لنا معرفة موضع كل ذرة من ذرات المادة في الكون وحركتها في لحظة ما ، وبافتراض أننا نعرف كل القوانين التي تحكم القوى الفاعلة بين تلك الذرات ، لأمكننا أن نحسب تاريخ الكون بالكامل ، من الماضي السحيق إلى المستقبل البعيد ، وهذا ما أشار إليه بيير لابلاس ، كما ذكرنا آنفاً .

علينا أن نعترف أن مثل هذه المعرفة ليست متوفرة ، ولن تتوفر . وحتى لو توفرت ، فإنه ليس هناك من حاسوب ، مهما كان عظيماً ، يستطيع إجراء الحسابات اللازمة . لكن إمكانية إجراء الحسابات أو عدمها ليست بيت القصيد في هذا العرض ، وما نبغي إليه هي المضامين العميقة للفكر النيوتني الجديد : الكون آلة إيقاعية رتيبة ، كل حركة لكل ذرة فيه — بما فيها نحن — محددة مسبقاً ومرسومة سلفاً في ظروف بدئية سادت ، في لحظة ما ، في أعماق الماضي . فبعد أن كان الكون في الحضارات القديمة محكوماً بقوى غيبية مزاجية تفعل به ما تريد وحين تريد ، رده نيوتن إلى جملة ميكانيكية تندفع بإيقاع منتظم ومستديم إلى نهاية محتومة لا مناص منها . ويا لها من صورة قاتمة ؛ فبعد أن خلع كوبرنيكوس الأرض من مركز الكون من قبل ، أتى نيوتن ليحيل الكون بكامله ، بما فيه الإنسان ، إلى أداة قاصرة لا حول لها ولا طَول في اختيار مستقبلها .

وفي آخر المطاف ، كان للتغير في المفاهيم أثره على الدين ؛ والفكرة المسيحية القديمة القائلة بالإله المنغمس في شؤون الكون كافة ، محركاً الأحداث من تلقيح الأجنة في الأرحام إلى تحديد أطوار القمر ، تراجعت لتفسح المجال أمام الفكرة القائلة بالإله الذي ابتدأ الخلق وجلس ليتفرج عليه دون تدخل فيه ، تاركاً إياه يسعى تبعاً لقوانين الرياضيات الربانية . لقد تحول الإله من مهندس بارع إلى رياضي ، وقد تجلت روح هذا التغير نحو السلبية الربانية والقانونية الطليقة في شعر روبرت براونينغ الذي يقول : « الرب في جنانه ، والكون على ما يرام » . لقد أتى الكون الإيقاعي يتطور بهدوء تبعاً لمخطط مرسوم . هكذا كان أثر أعجوبة عبقرية نيوتن التي كان على البابا (The Pop) أن يكتب عنها : « قال الرب ، ليكن نيوتن ، وكان هناك الضياء » .

لكن على الرغم من هذا الإنجاز الفكري المذهل الذي جلب الانضباط إلى عالم كوني متمرد، فقد كان ما صاغه نيوتن بقوانينه الصارمة ينطوي في أعماقه على جانب مقنط. فعندما ظهرت آخر ذرة إلى الوجود، في أثناء تكوُّنه، انبثقت من هذا الكون شرارة الحياة. صحيح أن الآلية الإيقاعية قد تكون جميلة وخلابة، لكن صورة كون يشق طريقه نحن الأبد دون تفكير ليست صورة مقنعة، خاصة وأننا ــ نحن البشر ــ نشكل جزءاً لا يتجزأ من هذا الكون، وهوية إرادتنا ــ الإرادة الإنسانية الحرة ــ ستكون ضحيتها الأولى. فإذا كان ماضي المادة ومستقبلها محددين تماماً بظرفها في أي لحظة من الزمن، فإن مستقبل الإنسان سيكون محدداً بتفاصيله كافة، وكل قرار يتخذه المرء، وكل إيماءة عشوائية تصدر عنه، ليسا في الواقع سوى أمر تقرر سلفاً منذ مليارات السنين، ليكون النتيجة المحتومة لتضافر قوى ومؤثرات متشابكة بشكل مذهل، لكنها محددة برمتها.

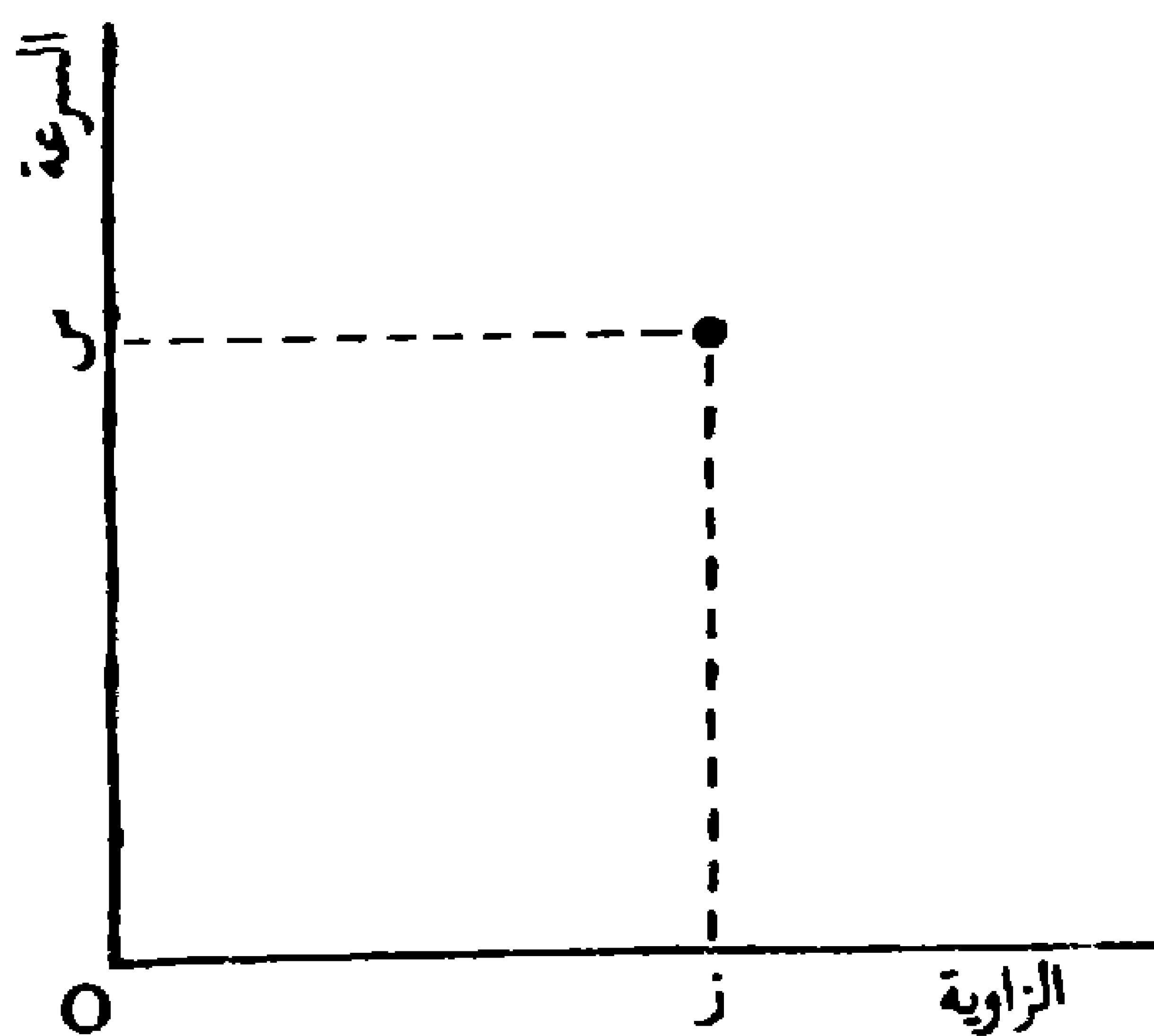
يعرف العلماء اليوم تماماً أن هناك عدة نقاط ضعف في الصورة النيوتنية التي تضفي على الكون خاصة الإيقاع المنتظم وحتمية المصير إلى نهاية محددة؛ لكن حتى ولو قبلنا بالفكرة الأساسية التي تستند إليها هذه الصورة، فإن قوانين نيوتن لا تقول إن هذا الشكل الذي نراه هو الشكل الوحيد الممكن للكون، إذ ما تزال هناك الظروف البدئية لكل ذرة من ذرات المادة في لحظة البداية. فلو كانت الظروف البدئية لجميع الذرات أو لبعضها مختلفة آنئذ عما كانت عليه فعلاً، لاتخذ الكون شكلاً آخر قد يكون مختلفاً كلياً عن شكله الحالي، وذلك تماماً كما تفعل الكرة التي يختلف مسارها باختلاف ظروفها البدئية. لكن، ما معنى كلمة البدئية هنا؟ سوف نرى فيما بعد أن العلماء المهتمين بدراسة مجمل الكون يعتقدون أن العالم لم يكن موجوداً دائماً، بل كانت هناك لحظة خلق يُظن أنها حصلت قبل حوالي خمسة عشر مليار سنة. فإذا قبلنا بذلك، فإن السؤال الذي يطرح نفسه عندئذ هو: ما هي الظروف التي سادت في تلك اللحظة والتي أدت فيما بعد إلى الكون الذي نرى؟ هل كانت تلك الظروف خاصة ومصممة مسبقاً، أم كانت عشوائية واعتباطية؟ كيف كانت ستبدو صورة الكون لو كانت تلك الظروف البدئية مختلفة؟.

إن الفلسفة الأساسية لهذه النقطة هي أن كوننا ليس إلا واحداً من عدد لا نهائي من الأكوان الممكنة: إنه وببساطة، أحد المسارات نحو المستقبل. من الممكن دراسة المسارات الأخرى باستخدام الرياضيات، ويمكننا الاستدلال على طبيعة هذا العدد الهائل من العوالم البديلة التي كان ممكناً لها أن تكون. وهنا يبرز السؤال: لماذا كان هذا العالم بالذات دون سواه؟ سوف نرى في الفصول القادمة كيف أن وجودنا بالذات يلعب دوراً أساسياً في هذا الأمر، وكيف أن هذه العوالم

الشبحية الأخرى ليست مجرد فضول أكاديمي، بل هي تستطيع أن تعبر عن وجودها فعلاً في عالمنا المحسوس الذي نعيشه.

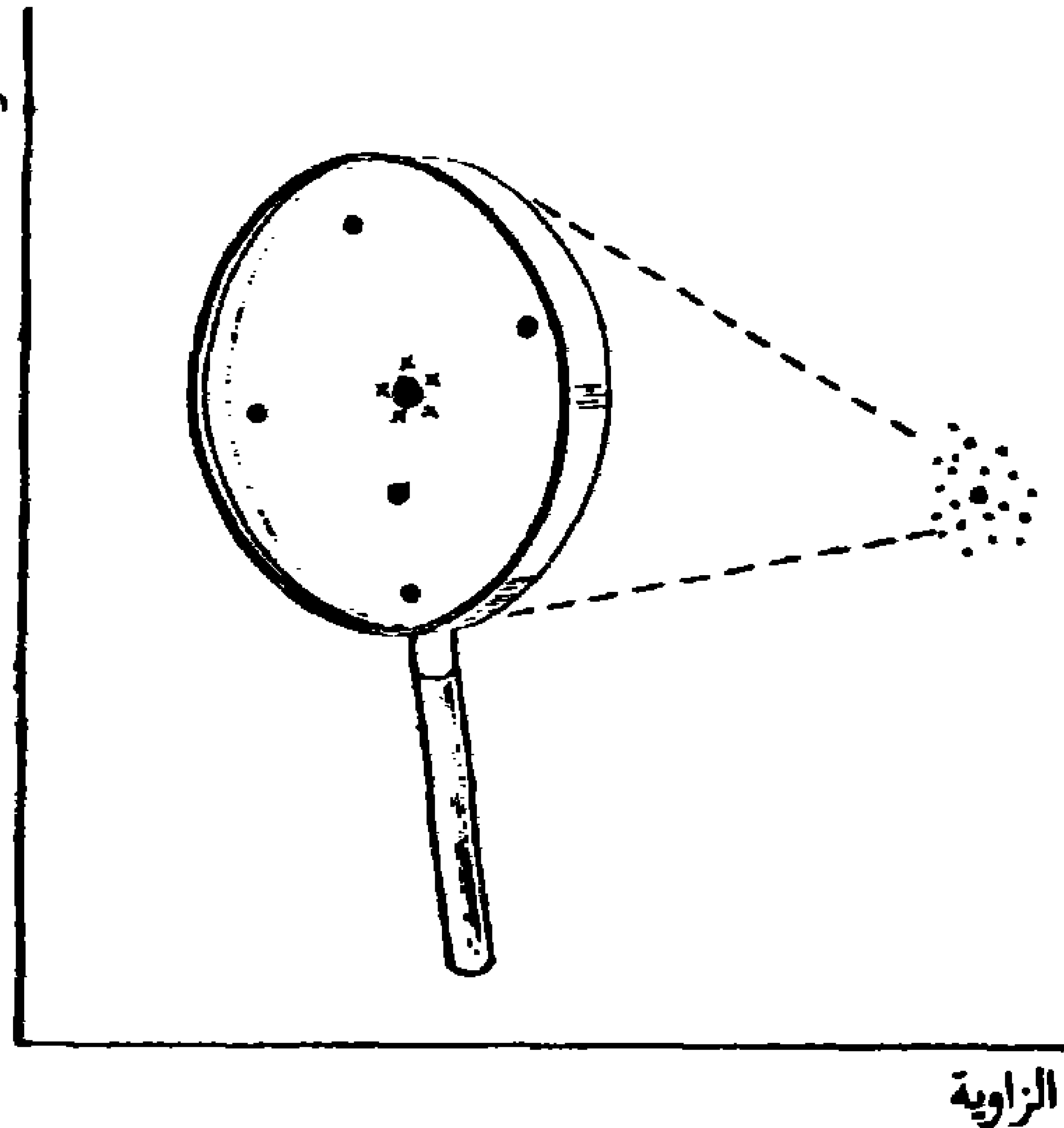
إحدى المفارقات التي تتصف بها الصورة النيوتنية للكون هي تناقضها الواضح مع بعض ممارساتنا الحياتية اليومية فيه، حيث تبدو كثير من الأمور وكأنها تحصل بالمصادفة لا بالتحديد. قارن مثلاً، تصرف كرة مع تصرف قطعة نقدية مقذوفة. من حيث المبدأ، كلتاهما تتحركان بموجب قوانين نيوتن، لكن الكرة إذا قُذفت مرات متتالية بزاوية واحدة وبسرعة واحدة، تأخذ دوماً المسار نفسه، في حين أن القطعة النقدية المقذوفة مرات متكررة وانطلاقاً من ظروف بدئية محددة لا تسقط في كل مرة على الوجه نفسه، بل يظهر أحد وجهيها أحياناً والآخر أحياناً أخرى. فهل هناك حقاً خلل في القوانين؟ كيف يمكن لهذه الاختلافات أن تنسجم مع فكرة الكون الإيقاعي المحدد تماماً بسلسلة من الحوادث المقررة سلفاً؟.

دعنا نتأمل أولاً في المقصود من القانون الطبيعي. يفترض بالقانون، كما فهمه الرواد الأوائل وكما ظهر في أعمال نيوتن، أن يصف الكيفية التي تنتهجها جملة ما في شروط وظروف محددة؛ إن أهم ما يجب أن يتصف به القانون هو صموده وعدم تغيره بتغير المكان والزمان، وهذا بالضبط هو ما يُعبّر عنه بمفهوم التكرارية الذي يلعب الدور المركزي في فلسفة إثبات النظريات بالتجربة المتكررة، ومؤداه أن الكرة إذا قذفت مرات متتالية بدءاً من شروط وظروف واحدة، فإنها يجب أن تسلك المسار نفسه في كل مرة.



شكل ١: تمثل النقطة على المخطط زاوية وسرعة قذف محددتين، وهذان الظرفان البدئيان يحددان واحداً من المسارات الكثيرة التي يمكن للكرة أن تتبعها حسب قوانين نيوتن في الحركة.

دعنا نتخيل، كطريقة جيدة لتحليل هذه المسألة، وجود مجموعة من الجمل الفيزيائية المستقلة فيما بينها تماماً، ودعنا نُسمِّ كلاً منها عالماً. لتكن جميع هذه العوالم متطابقة تماماً فيما عدا ما يتعلق بكرة مقذوفة في كل منها، حيث تختلف سرعة وزاوية قذف الكرة اختلافاً قليلاً من عالم إلى آخر. عندئذ، سنجد سلسلة كاملة من المسارات في العوالم المختلفة، لكل منها شكل قطع مكافئ، بموجب قوانين نيوتن، لكن أياً منها لا ينطبق على سواه (بسبب اختلاف الظروف البدئية من عالم إلى آخر). إن من المفيد أن نجد لرسم هذه العوالم طريقة تتيح تمييز كل منها عن الآخر، ومن الطرق المألوفة في هذا الصدد رسم مخطط بياني نوضح فيه الظرفين البدئيين، السرعة والزاوية، معاً (انظر الشكل ١). إن كل زوجين من الأعداد (السرعة والزاوية) في هذا المخطط يُعيِّنان نقطة، وكل نقطة تتعلق بعالم واحد وبمسار معين.



شكل ٢: يمكن لجملة النقاط العشرين المتجاورة أن تمثل عشرين عالماً تختلف فيما بينها فقط بالاختلافات البسيطة بين المسارات الممكنة للكرة. من ناحية أخرى يمكن لهذه النقاط أن تمثل عوالم تنتمي فيها كرات البلياردو إلى وضعيات مختلفة على نحو كبير، ومن خلال العدسة المكبرة فقط يمكننا ملاحظة أن ذلك ليس ناجماً عن عشوائية متأصلة في الطبيعة وإنما من مجرد حساسية عالية للتغيرات البسيطة في الظروف البدئية للكرة المركزية. وبالتالي، هناك فعلاً نقاط (وهي تلك المشار إليها بـ x) قريبة جداً من النقطة الأصلية والتي يمكن أن تقود إلى نفس توضعات كرات البلياردو تقريباً.

دعنا الآن نفحص نقطة ما على المخطط مع مجموعة النقاط المجاورة لها مباشرة (شكل ٢). إن تلك النقاط القريبة من النقطة موضوع الاهتمام تمثل العوالم الشبيهة جداً بالعالم الأصلي المقترن بالنقطة المذكورة، بمعنى أن سرعة الكرة وزاوية قذفها في كل منها تختلفان بمقدار ضئيل فقط عن هاتين الممثلتين لذلك العالم. حسب قوانين نيوتن، تكون مسارات الكرات في هذه العوالم متشابهة جداً ولا تختلف فيما بينها إلا كما تختلف ظروفها البدئية، ولذلك فإن التغير الطفيف في تلك الظروف يسبب تغيراً طفيفاً في الحركة الناجمة.

تأمل الآن مثالاً آخر يتضمن وجود عدة كرات معاً بدلاً من الكرة الواحدة. ففي لعبة البليباردو مثلاً، يبدأ اللعب بقيام أحد اللاعبين بقذف الكرة المركزية مصوباً إياها نحو مجموعة من عشر كرات أخرى منضدة بجوار بعضها على شكل مثلث مقلوب. بعد الصدمة، تتبعثر الكرات هنا وهناك على سطح طاولة البليباردو بفعل اصطداماتها بعضاً ببعض ومع حواف سطح الطاولة ثم تتوقف عن الحركة (بفعل الاحتكاك) موزعة بشكل ما. فلو أعيدت اللعبة مرة أخرى أو مرات، لما استطاع اللاعب، مهما بذل من جهد ومهارة، أن يحصل للكرات لدى استقرارها على توزع يماثل تماماً التوزع الذي حصل في المرة الأولى، أي أنه لن يحصل على توزع يتكرر مرتين. والنتيجة هي، أنه مهما كانت الظروف البدئية للكرات متقاربة من مرة إلى أخرى، فإنه ليس من الممكن التنبؤ بوضع الكرات بعد الاستقرار. فكيف يكون هذا منسجماً مع قوانين نيوتن الحتمية إذن؟.

على غرار ما فعلناه في الشكلين ١ و٢، يمكن أن نمثل أفراد مجموعة عوالمنا ــ كرات البليباردو ــ بنقاط على المخطط، لأن من أجل كل نقطة مفردة منه، أي كل زوجي زاوية وسرعة للكرة الصادمة، يوجد للكرات توزع يتعين تماماً بالقوانين. لكن الفرق هنا عن حالة الكرة في المثال السابق، يكمن في خواص المجموعة لا في العالم المفرد أياً كان، ذلك أن حتى الظروف البدئية المتقاربة جداً من الظرف البدئي الأول سوف تؤدي إلى توزعات نهائية للكرات متخالفة جداً فيما بينها.

لكي نميز بين المثالين بشكل أفضل نقول إننا في المثال الأول نتحكم بشكل جيد في الظروف البدئية، في حين أن الأمر ليس كذلك في المثال الثاني. فالوضع النهائي لكرات البليباردو حساس للتغيرات والاضطرابات الطفيفة لدرجة أن النتيجة النهائية تكون عشوائية قليلاً أو كثيراً. ونحن لو استعملنا عدسة مكبرة لفحص المخطط البياني في الشكل ٢، للاحظنا حقاً وجود عدة نقاط تجاور كل نقطة منه، وهي تعني أنها قد تقود إلى وضع نهائي للكرات شبيه بالوضع الذي انبثق عن العملية الأولى. لكن المشكلة هي أن النقاط قريبة جداً بالفعل من النقطة الأولية، أي أن النقاط المتجاورة مرتصة جداً بكثافة عالية، لدرجة أننا نفشل في كل محاولاتنا في الحصول على النقطة المجاورة الواحدة نفسها مرتين.

إن النتيجة التي قد نستخلصها من المثال السابق هي أن التنبؤ التام بسلوك الطبيعة في العالم الحقيقي، لا يظهر إلا إذا فحصنا الأمور في سلم الصُغْريات، أي إذا دققنا في الظروف البدئية لكل ذرة من ذراته. ولا يمكن أن نأمل في رؤية عالم يسير وفق نظام مرتب إلا إذا أخذنا في الحسبان سلوك

كل ذرة من ذرات العالم بكل تفاصيلها. لذلك تجدنا في حياتنا اليومية، وبسبب جهلنا بالظروف البدئية أو عجزنا عن التحكم بها، نرى للمصادفة دوراً كبيراً في سلوك هذا العالم. إن هذا هو ما اعتقد به الفيزيائيون، ولوقت طويل؛ فقد كانوا يرون أن جهلنا هذا وقصور وسائلنا العملية عن الوصول إلى تلك التفاصيل الدقيقة هما منبع المصادفة والارتياب في الصورة التي نرى الكون عليها. لقد كان الاعتقاد السائد هو أن الذرات نفسها تتحرك حسب قوانين نيوتن الصارمة، وأنها لا تختلف عن كرات البلياردو إلا بمسألة الحجم فقط. وقد كان في الواقع لهذا التصور أثره الكبير في فهم الكثير من خصائص الغازات والجوامد، وذلك بالنظر إليها على أنها تراكم هائل من الذرات التي يتحرك كل منها حسب قوانين نيوتن. وبالطبع لم يكن بالإمكان دراسة كل ذرة على حدة بسبب عددها الكبير جداً، ولذلك تم الاعتماد على الخصائص الإحصائية لحركة هذه الذرات من أجل فهم تصرفها الإجمالي والتنبؤ به.

مع بداية القرن العشرين، تم اكتشاف أن الذرات ليست أشياء صلبة غير قابلة للانقسام، بل تتمتع ببنية داخلية، تشبه بنية المنظومة الشمسية. ففي مركز الذرة نواة ثقيلة تحيط بها غيمة من الالكترونات الخفيفة التي تدور حولها والمرتبطة بها بوساطة قوة التجاذب الكهربائية الناجمة عن الشحنة السالبة للالكترونات والشحنة الموجبة في النواة. لقد كان من الطبيعي حينئذ الإسراع إلى ميكانيك نيوتن لاستخدامه في بناء نموذج رياضي للذرة، في محاولة لتكرار النجاح الذي حققه سابقاً في تفسير حركة الكواكب في المنظومة الشمسية؛ لكن النموذج لم ينجح لسوء الحظ هذه المرة، فقد بدا فيه خلل أساسي. لقد كان مكتشفاً منذ القرن التاسع عشر أن الشحنة الكهربائية عندما تتسارع تأخذ بإصدار إشعاعات كهرطيسية كالضوء والحرارة وأمواج الراديو، وهذا هو المبدأ المستخدم في أجهزة الإرسال اللاسلكية الراديوية، حيث تُقسر الالكترونات على التسارع هبوطاً وصعوداً في هوائي الجهاز لكي تشع الأمواج الكهرطيسية. كذلك في الذرة، تدور الالكترونات حول النواة في مدار إهليلجي تحت تأثير قوى التجاذب بينها وبين النواة، وهذا، فيزيائياً، هو تسارع أيضاً يؤدي إلى إشعاع كهرطيسي. لكن لو حصل ذلك، وقامت الالكترونات بالإشعاع فإن الذرة كانت ستفقد طاقة مساوية للطاقة الكهرطيسية الصادرة، الأمر الذي يؤدي إلى تباطؤ الالكترون وبالتالي إلى انكماش قطر مداره واقترابه من النواة، ومن ثم يترتب على هذا الالكترون أن يدور بسرعة أعلى كي يتغلب على قوة التجاذب الكهربائية التي تزداد بسبب نقصان المسافة بينه وبين النواة. النتيجة عندئذ إشعاع أكبر بسبب سرعة الدوران الأكبر، وبالتالي انكماش متزايد في مدار

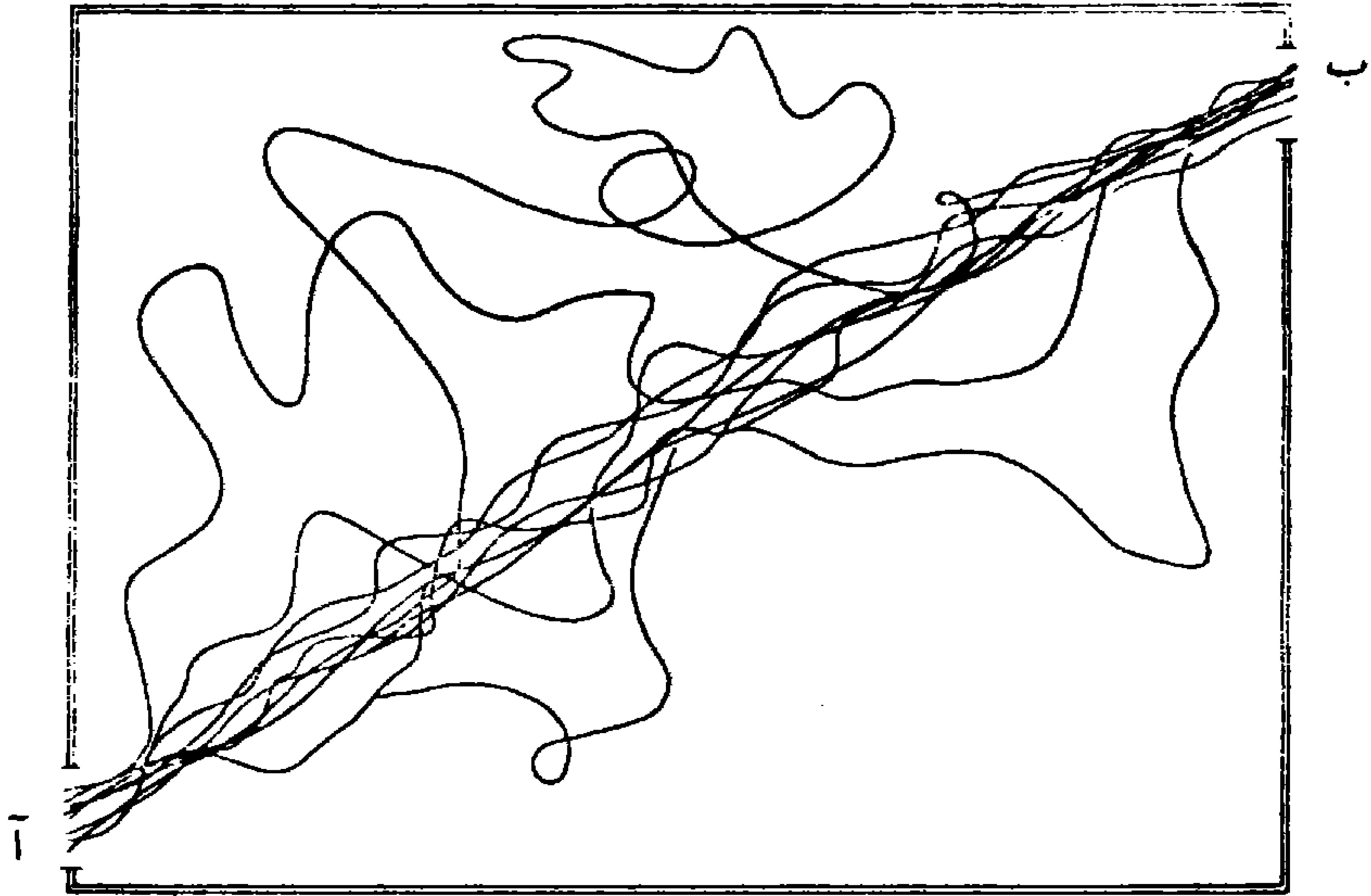
الالكترون ... مؤدياً في النهاية إلى سقوطه على النواة ومن ثم إلى انهيار الذرة تماماً؛ لكن الذرة لاتنهار ..! فأين الخطأ في النموذج إذن؟.

لم يُكتشف حل هذا اللغز إلا في العشرينيات من هذا القرن، وسوف نتعرض لتفاصيل هذا الأمر في الفصول القادمة، إلا أنه يكفي الآن أن نشير إلى أن الفشل آنئذ لم يكن من نصيب ميكانيك نيوتن وحده في بناء نموذج للذرة، وإنما فشلت أيضاً كل القوانين التي كانت معروفة حتى ذلك العهد؛ وكان لابد من نظرية جديدة بديلة، وقد تم وضع تلك النظرية، التي لم تكتف بهدم قرنين كاملين من الاعتقاد بمطلقية ميكانيك نيوتن، بل شكلت أيضاً تحدياً سافراً لافتراضات أساسية كان يُعتقد بها حول المعنى الكامل للمادة ونظرتنا إليها. إنها نظرية الكم التي تم تطويرها على مراحل ما بين عامي ١٩٠٠ و١٩٣٠ والتي كان لمضامينها عواقب خطيرة في فهمنا لطبيعة الكون ولمكاننا ودورنا فيه.

لقد كانت التجربة التي أجراها ديفيسون، والتي أتينا على ذكرها في بداية هذا الفصل، أول شاهد عملي مباشر لمصلحة المبادئ الجديدة المذهلة. دعنا، كمدخل إلى النظرية الجديدة، نمعن النظر ثانية في قانون الحركة. لنفترض أن كرة قد قذفت من موقع آ وتحركت حسب مسار ما إلى موقع آخر هو ب. إذا تم تكرار العملية نفسها، فإننا نتوقع، حسب قوانين نيوتن، أن تسلك الكرة المسار نفسه بالضبط إذا كانت الظروف البدئية هي ذاتها في كل مرة؛ وقد كان هذا متوقعاً أيضاً للذرات ولمكوناتها من الكترونات ونوى، ذلك أن الفارق بين هذه المكونات والكرة ليس إلا في الحجم فحسب (هكذا كان الاعتقاد). لكن الاكتشاف المذهل لنظرية الكم كان أن هذا ليس صحيحاً، فألف من الالكترونات سوف تسلك من آ إلى ب ألفاً من المسارات المختلفة: سيطرة القانون الرياضي على تصرفات المادة تبدو للوهلة الأولى وكأنها انتهت، فاسحة المجال للفوضى المطلقة في العالم الصِّغْري. إن من الصعب استيعاب الأبعاد الخطيرة لهذا الاكتشاف، لأنه منذ أن وجد نيوتن أن المادة تتصرف تبعاً لقواعد محددة، تم الافتراض بأن هناك مجموعة من القوانين التي يمكن تطبيقها واستخدامها على كل المستويات ذات الأحجام الكبيرة واللامتناهية في الصغر، من الذرات إلى الكون بالكامل. لكن الآن، وبعد تجربة ديفيسون، فإن السير الرتيب لعالمنا كما نعيشه في حياتنا اليومية قد انهار إلى فوضى واضطراب في صميم بنيته الذرية.

على الرغم من أن العشوائية أمر لامفر منه في سلم الصغريات الذرية — كما سنرى فيما

بعد ــ فإن هذه العشوائية، ومن خلال طبيعتها بالذات، يمكن أن تؤدي إلى نوع من الانتظام. لإيضاح هذه المسألة اللغز، دعنا نمعن النظر في المثال التالي: حديقة ذات سور وبوابتين آ و ب متقابلتين قطرياً كما هو مبين في الشكل ٣. لنفترض أن الحديقة تقع عند تقاطع شارعين بحيث أن الشخص الراغب في الانتقال من الشارع الأول إلى الشارع الآخر يشق طريقه عبر الحديقة داخلاً من البوابة آ ومتجهاً إلى البوابة ب، سالكاً بذلك طريقاً أقصر مما كان عليه أن يقطع فيما لو سلك طريق الشارع. هناك من الناس طبعاً من يدخل الحديقة للنزهة أيضاً. فإذا حاولنا الآن رسم المسارات التي يتبعها زوار الحديقة خلال ساعة واحدة ــ مثلاً ــ فإننا سوف نحصل على مخطط مشابه لما هو مبين في الشكل ٣. إن الخاصة المميزة التي يمكن أن نتبينها من المخطط هي أن معظم



شكل ٣: يمثل المخطط مسارات الأشخاص عبر الحديقة. إن معظم الناس يميلون إلى بذل أقل جهد ممكن بالسير على أقصر طريق، ولذلك فإن مجموعة المسارات تتركز حول الخط المستقيم بين البوابتين. لكن بعض الناس من ذوي النشاط العالي قد يتبعون مسارات معقدة. كذلك هي الجسيمات دون الذرية، فهي تتبع مسارات مختلفة، لكنها تفضل أن تسلك أقصر السبل.

عابري الحديقة يسيرون على مسارات قريبة جداً من الخط الواصل بين البوابتين آ و ب، لكن بعضهم الآخر، ممن يتوفر لهم الوقت والعزيمة، قد يتبع مساراً منحازاً بعض الشيء إلى أحد الجانبين. أما الشخص الذي خرج مع كلبه متنزهاً فإنه قد يتجول بالقرب من سور الحديقة. وفي بعض

الأحيان ، قد يحتوي المخطط على مسار متعرج وملتوٍ ، وهذا يمثل حركة اعتباطية قام بها طفل مثلاً . المهم في الأمر ، أن الناس لا يخضعون في حركتهم إلى قوانين ثابتة وصارمة ، وإنما ينظرون إلى أنفسهم على أنهم يملكون كامل الحرية لاختيار المسار عبر الحديقة . وفعلاً ، فإن الفرد الواحد يستطيع أن يختار سلوك المسار الذي يرغب والذي قد يكون قريباً أو بعيداً عن أقصر مسار بين البوابتين . لكن ، وعلى الرغم من ذلك ، وعندما تتم دراسة حركة مجموعة كبيرة من الناس ، فإن هناك احتمالاً عالياً لتركز المسارات حول المسار المستقيم الذي يذهب من آ إلى ب . وبوجود عدد كافٍ من الناس تحت المراقبة في الحديقة ، نجد أن شكلاً من الانتظام قد بدأ بالظهور ، وهو تجمع معظم المسارات حول الخط المستقيم ، على الرغم من أن القانون «اتبع الخط المستقيم» ليس مُطاعاً في الحالة العامة . السبب في ذلك هو أنه لدى ملاحظة عدد كبير من الناس ، نرى أن الأثر الوسطي لحركاتهم الإفرادية مجتمعة يتخذ منحى مطابقاً للمسار المستقيم وكأن القانون «اتبع المسار المستقيم» كان مُطاعاً . فيما يخص مثالنا الحالي ، يعود سبب الظاهرة إلى أن الناس ، وسطياً ، يميلون بطبعهم إلى اختيار التصرفات ذات الفعالية المنخفضة ، أي التي تتطلب الجهد الأدنى ، والطريق المستقيم من آ إلى ب هو الطريق الذي يحقق المطلوب ، وبالتالي هو الأعلى احتمالاً . على مستوى الفرد الواحد ، قد لا يكون هذا الطريق هو المتبع ، وما ظهوره في المخطط بشكل كثيف إلا مسألة احتمالية بحتة .

تشبه حركة مكونات الذرة إلى حد بعيد حركة الأشخاص في عبورهم للحديقة ؛ فالالكترونات لدى انتقالها من نقطة آ إلى نقطة ب تتبع مسارات مختلفة معظمها يقارب المسار الأقصر ذا المجهود الأدنى ، وهي بذلك ، كالإنسان ، لا تحب إجهاد نفسها كثيراً . إن أهم ما في هذا المسار الأقصر من صفات ، هو أنه يتطابق تماماً مع المسار النيوتني ، أي ذلك الذي ينتج باستخدام قوانين نيوتن . يمكن ، بالعودة إلى مثال الحديقة ، أن نتبين ظاهرة هامة أخرى ، وهي أن الأشخاص المترهلين وضخام الجثة يميلون إلى اتباع المسارات الأكثر استقامة ، في حين أن خفيفي الوزن ، كالأطفال مثلاً ، يمكن أن تكون مساراتهم طويلة ملتوية ومتعرجة . يعود السبب في هذا إلى أن الجهد الإضافي اللازم لتحريك جسم ثقيل على مسار منحن يفوق ذلك اللازم للجسم الخفيف . وكذلك الأمر بالنسبة لذرات المادة ومكوناتها ؛ فالجسيمات الأثقل كالذرات والجزيئات تميل إلى اتباع المسارات الأكثر استقامة ، بينما يمكن للالكترونات الأقل وزناً أن تتبع المسارات الملتوية . وعندما تكون كتلة الجسم كبيرة جداً ، ككرة البلياردو مثلاً ، فإنه من غير المحتمل لها أن تسلك مسارات تختلف عن المسار ذي الجهد الأدنى والذي يتحدد بقوانين نيوتن . من هذا يمكننا أن نفهم كيف أن

العشوائية على الصعيد الذري تنسجم من الانتظام النيوتني الذي يحكم تصرفات الأجسام الكبيرة التي نستشعرها في حياتنا اليومية. إن الحجم الكبير لهذه الأجسام، هو الذي يجعل احتمال اتباعها لمسارات ملتوية ومتعرجة صغيراً جداً، إلى حد لا يمكننا معه مصادفتها في حياتنا اليومية، وبالتالي يجعل قوانين نيوتن تبدو لنا وكأنها صحيحة بشكل مطلق. ومع ذلك، وعلى الرغم من أن احتمال اتباع الكرة لمسار بعيد عن المسار المستقيم صغير جداً جداً، فإن هذا الاحتمال يبقى ذا قيمة تختلف عن الصفر، وتبقى إمكانية اتباع الكرة لمسار متعرج قائمة.

بالاعتماد على مبدأ رياضي يشبه إلى حد ما الخاصة الإنسانية التي تجعل المرء يتردد ويتلكأ في الانخراط في نشاط غير ضروري، تسمح نظرية الكم بحساب الاحتمالات النسبية لجميع المسارات التي يمكن لالكترون أو ذرة أن يتبعاها بين نقطتين محددتين. من حيث المبدأ، يتم أولاً حساب الجهد اللازم لجسيم ما للحركة على مسار ما، ثم يتم استخدام المقدار المحسوب في صيغة رياضية تعطي احتمال اتباع ذلك المسار. إن كل المسارات، مهما كان شكلها، تبقى ممكنة وإن كانت ليست محتملة بالقدر نفسه.

ما زلنا بحاجة إلى فهم كيف أن هذا يمنع انهيار الذرة (مخالفاً بذلك قوانين نيوتن كما ذكرنا آنفاً). في الفصل الثالث، سنتعرض بالتفصيل لنظرية مذهلة أخرى في طبيعة المادة على الصعيد دون الذري، ومن خلالها سيكون الأمر واضحاً وجلياً؛ أما هنا، فسنكتفي بإيراد لمحة عامة عن تلك النظرية. فتبعاً للنظرية القديمة، لا بد للالكترون الذي يدور حول النواة من أن يقترب منها على مسار حلزوني بسبب إصداره المستمر للطاقة على شكل إشعاعات كهرطيسية، وهذا المسار هو ما تتنبأ به قوانين نيوتن. ولو كان هناك كمية لا محدودة من الطاقة ضمن الذرة، بحيث لا يؤدي الإشعاع الناتج عن دوران الالكترون إلى فقدان كمية محسوسة منها، فإن الالكترون سيبقى على مدار دائري حول النواة، كالكواكب حول الشمس. لكن كمية الطاقة الموجودة في الذرة محدودة ولا بد لها من أن تنضب إذا استمر الإشعاع. هنا تظهر البراعة في نظرية الكم التي لا تقول بوجود مسار وحيد للالكترون حول النواة، وإنما هناك الكثير من المسارات المختلفة المحتملة. يمكن للالكترون أن يقفز من مسار إلى آخر، وكلما تم إشعاع كمية محددة من الطاقة اقترب الالكترون من النواة أكثر. لكن اقتراب الالكترون من النواة بشكل مستمر غير ممكن، ويعود ذلك إلى ظاهرة غير مألوفة لنا في حياتنا اليومية، كان لها الدور الحاسم في تطوير نموذج الذرة الجديد. تتجلى هذه الظاهرة بوجود حالة من الطاقة الدنيا يكون احتمال وجود الالكترون في حالة أخفض منها معدوماً. بكلمات أخرى، لا يجوز

اقتراب الالكترون من النواة إلى مدى يقل عن المدى الذي تحدده حالة الطاقة الدنيا، وإنْ حصل ذلك، وهذا ممكن على أساس احتمالي صرف، فإنه يُمنع من البقاء هناك. إن البعد الوسطي للالكترون عن النواة يساوي حوالي عشرة أجزاء من مليار جزء من السنتمتر، وهذا هو قطر الذرة في حالتها ذات الطاقة الدنيا.

توجد في الواقع سلسلة كاملة من سويات الطاقة في الذرة، ويتم إشعاع الضوء عندما يقوم الالكترون بالانتقال من سوية طاقية خارجية إلى سوية طاقية داخلية. وبما أن قيمة الطاقة ثابتة عند كل سوية، فإن ماتشعه الذرة عند هذا الانتقال يظهر على شكل رشقة قصيرة جداً من الضوء طاقتها تساوي الفرق بين طاقتي المدارين اللذين يقفز الالكترون بينهما. إن كمية الطاقة التي يتم إشعاعها هي مقدار فيزيائي مميز لكل نوع من أنواع الذرات ولا يمكن له أن يأخذ قيماً اعتباطية، ولذلك نجده يأخذ قيماً محددة فقط. يدعى هذا المقدار من الطاقة الضوئية (الكهرطيسية) الصادرة بالكم، وتدعى كموم الضوء بالفوتونات. لقد كان وجود الفوتونات معروفاً حتى قبل اكتمال النظرية الذرية بمدة طويلة: فاكتشافات بلانك (Plank) وتفسيرات آينشتاين للمفعول الفوتوكهربائي بيَّنت أن الضوء لا يصدر إلا على شكل وحدات متقطعة من الطاقة. إن طاقة كل فوتون تتناسب مع تواتره، أي مع عدد اهتزازات الموجة الضوئية في الثانية الواحدة، ولذلك فإن لون الضوء الذي يعبر عن التواتر يعتبر مقياساً ومعياراً لطاقته. فالضوء الأزرق، وهو ذو تواتر عال، يتألف من فوتونات ذات طاقة أعلى من تلك التي تتمتع بها فوتونات الضوء الأحمر ذي التواتر المنخفض نسبياً. والأكثر من ذلك، وبما أن كل نوع من الذرات يصدر فوتونات خاصة به، فإن لون الضوء الذي تصدره الذرات يمثل بصمة مميزة لكل منها. وبالطبع، تستطيع كل ذرة أن تشع مجموعة كاملة، أي طيفاً كاملاً من الألوان، مما يُنبئ عن وجود سلسلة من سويات الطاقة في الذرة غير متساوية المسافات فيما بينها. وعلى هذا الأساس تمكنت نظرية الكم من تفسير الأطياف الضوئية المميزة للمركبات الكيميائية المتنوعة. إن الحسابات في الواقع لا تعطي الألوان الصادرة بدقة فحسب، بل تعطي أيضاً شداتها النسبية وذلك بحساب الاحتمالات النسبية لقفزات الالكترونات الممكنة بين سويات الطاقة المختلفة.

لم تكن هذه النجاحات المثيرة لنظرية الكم سوى أول الغيث، وسنرى في الفصول القادمة أن تطبيقات النظرية لا تقتصر على البنية الذرية والأطياف الضوئية فحسب، وإنما تمتد إلى ما هو أبعد من ذلك بكثير. بيد أن ثمة شيئاً لم يلق بعد التفسير الملائم: ما هي بالضبط الآلية التي تؤدي إلى

تلك التغيرات الجذرية في سلوك الالكترونات لدى تنقلها بين المسارات المختلفة؟ إن في هذا الأمر سراً عميقاً، إذ كيف يعرف الالكترون أنه قد تجاوز مساره الخاص؟ والأكثر من هذا، هناك ظاهرة أكثر عجباً سنناقشها في الفصل الثالث، وهي أنه ليس على الالكترون أن يعرف مساره فحسب، بل عليه أن يعلم أيضاً عن جميع المسارات الأخرى التي لا يصل إليها على الإطلاق.

لإيجاز السمات الهامة لثورة الكم، نقول إن القوانين الثابتة للحركة ما هي في الواقع سوى وهم. فالمادة يمكنها أن تتجول بشكل عشوائي على نحو قد يقل أو يكثر، تحت تأثير عوامل معينة، كالتردد في الانغماس في الأنشطة ذات الفعالية العالية. وبالتالي، يكون تفادي الفوضى المطلقة ناجماً عن أن المادة كسولة بقدر ما هي فوضوية، الأمر الذي يبيح لنا أن نقول، بمعنى ما، إن الكون يتفادى الانهيار التام بفضل الخمول المتأصل في طباع الطبيعة. فمع أنه ليس من الممكن الحكم على حركة معينة بشكل قطعي بسبب تلك المُسحة من الفوضوية المتأصلة في الطبيعة، فإن بعض مسارات الأحداث أكثر احتمالاً من غيرها، وبالتالي يمكن على أساس إحصائي التنبؤ الدقيق بالكيفية التي تتصرف بها مجموعة كبيرة من الأنظمة المتماثلة؛ لكن النتيجة تبقى على الرغم من ذلك واضحة، وهي أن الكون ليس آلة رتيبة مستقبلها محدد مسبقاً، بل هو محكوم بالمصادفة أكثر من القوانين الثابتة، وليس الارتياب في أحداثه المتنوعة ناجماً عن جهلنا بالظروف البدئية، كما كان يُظن سابقاً، وإنما هي خاصة ضاربة جذورها في عمق بنية المادة. لقد كانت هذه الظاهرة مذهلة إلى درجة أن آينشتاين بقي كل حياته رافضاً لها قائلاً بأن الله لايلعب النرد؛ ومع ذلك فقد قبل بها معظم الفيزيائيين، وسوف تبين الفصول القادمة النتائج المدهشة لكون يكمن الارتياب في أساساته.

٢

ليست الأشياء دائماً كما تبدو

لقد بينا في الفصل السابق كيف أن فكرة نيوتن عن الزمن الرياضي الدقيق المتدفق من الماضي إلى المستقبل تلعب دوراً أساسياً في إدراكنا للكون من حولنا في حياتنا اليومية. إننا لا نرى العالم ساكناً، بل متحركاً متطوراً متغيراً من لحظة إلى أخرى على نحو رتيب بدا في الصورة النيوتنية محدداً سلفاً كتابع للكون في الماضي والحاضر. لكن ثورة الكم أبطلت هذا الاعتقاد، وأتت لتقول إن المستقبل بطبيعته غير مؤكد أو محدد. لقد زعزعت نظرية الكم مصداقية الميكانيك النيوتني، ولم يكن نموذجه للزمان والمكان بأفضل حظاً، فقد انهار هذا أيضاً تحت ضربات ثورة لا تقل في عمقها عن ثورة الكم، لكنها سبقتها بسنوات عدة.

في عام ١٩٠٠، نشر آينشتاين نظرية جديدة في الزمان والمكان والحركة تدعى بنظرية النسبية الخاصة، وقد شكلت هذه النظرية تحدياً لبعض أكثر الافتراضات قبولاً والتي كانت سائدة حينئذ حول طبيعة الزمان والمكان. ومنذ تاريخ نشر النظرية لأول مرة، شهدت التجربة لصالحها مراراً، وهي الآن مقبولة لدى الفيزيائيين بالإجماع. فمن أهم التنبؤات العظيمة لهذه النظرية، وجود ما يدعى بالمادة المضادة، والسفر عبر الزمن، ومرونة المكان والزمان وتشوههما، والتكافؤ بين الكتلة والطاقة وتحولات المادة بين الوجود والعدم. وفي عام ١٩١٥، أتبع آينشتاين نظريته الأولى بنظرية جديدة لا تقل عن سابقتها غرابة في مضامينها ومقولاتها، وهي ما يعرف بنظرية النسبية العامة. وعلى الرغم من أن هذه النظرية ليست مرتكزة بشكل جيد على التجارب المخبرية، فإن تنبؤاتها مذهلة إلى درجة عدم التصديق؛ فهي تتكلم عن الزمان والمكان المنحنيين، والثقوب السوداء، وإمكانية الكون

اللامحدود لكن المتناهي بالحجم والأبعاد، وحتى إمكانية خروج الزمان والمكان نفسيهما من دائرة الوجود كلياً.

إن تبني نظرية النسبية لهذه المقولات غير المألوفة يقوم على أساس نظرية ثورية جديدة لماهية الكون. فحسب الآراء النيوتنية ـــ وهي ناجمة بطبيعة الحال عن الحس العام للإنسان العادي في حياته اليومية ـــ يتغير العالم من لحظة إلى أخرى، وفي كل لحظة يتمثل هذا العالم بحالة محددة تماماً، وإن كانت غير معلومة، للكون بكامله. إننا ننظر إلى الناس الآخرين كافة، وإلى الكواكب والنجوم والمجرات وكل ما يمكن أن يكون مصدر اهتمام لنا، على أنها كلها موجودة في ظروف معينة في هذه اللحظة: الآن. بكلمات أخرى، نحن نرى الكون على أنه مجمل هذه الأشياء كلها في لحظة معينة من الزمن. إن معظم الناس لا يَشُكُّون بوجود شيء اسمه نفس اللحظة، أي لحظة شاملة تسود الكون كله، ونيوتن كان واحداً منهم.

يمكن إيضاح الخلل في نظرتنا المألوفة إلى الزمن من خلال استعراض الظاهرة الغريبة التالية: يوجد ما بين برج النسر (Aquila) وبرج الرمح (Sagitta) جرم سماوي يدعى النباض المثنى (Binary Pulsar)، وهو يتألف، كما يدل على ذلك اسمه، من نجمين مرتصين يدور كل منهما حول الآخر وفق مدار ضيق؛ ويُعتقد أنهما كثيفان جداً لدرجة أن ذراتهما بالذات قد انهرست واستحالت إلى نترونات تحت تأثير التجاذب التثاقلي الهائل الناجم عن الارتصاص. وبسبب هذا الانكماش الهائل، حيث لا يتجاوز قطر أي من النجمين بضعة كيلومترات، فإن كلاً منهما يدور على نفسه بسرعة خيالية تصل إلى عدة دورات في الثانية الواحدة. إن أحد النجمين محاط بحقل مغناطيسي، ويستدل على ذلك من نبضات الموجات التي تصدر عنه في كل دورة يدورها (من هنا أتى اسم النباض) والتي قام الفلكيون برصدها على امتداد سنوات طويلة من خلال التلكسوب الراديوي العملاق الموجود في بورتوريكو. ويظهر انتظام دوران النجم النتروني في الانتظام الدقيق للنبضات الصادرة عنه والتي يمكن لذلك أن تستخدم كميقاتية فلكية دقيقة بالإضافة إلى كونها وسيلة جيدة لمتابعة حركة النجم عن طريقها.

إن انتظام ورود النبضات من النجم النتروني هو الذي يدل على الخلل في مفهوم الزمن المألوف في الحس العام. فباعتبار أن لكلا النجمين كتلة هائلة وأنهما متجاوران جداً، فإنهما يدوران، كل منهما حول الآخر، بسرعة كبيرة، مستغرقين ثماني ساعات فقط لإتمام دورة واحدة:

إن ستتهما تساوي ثماني ساعات. فهذان النجمان يتحركان إذن بسرعة محسوسة بالمقارنة مع سرعة الضوء والتي هي نفسها سرعة انتشار الأمواج الكهرطيسية (الضوء وأمواج الراديو والأشعة تحت الحمراء والأشعة السينية وكثير غيرها هي مظاهر متنوعة لظاهرة أساسية واحدة: الأمواج الكهرطيسية). فلدى دوران النجم النباض حول قرينه، يقترب تارة من الكرة الأرضية ويبتعد عنها تارة أخرى، تبعاً للاتجاه الآني لحركته في كل لحظة. واعتماداً على الحس العام نتوقع، لدى اقتراب النباض من الأرض، أن تتسارع النبضات الراديوية الواردة منه، وذلك بسبب الدفع الإضافي الذي تتلقاه باتجاه الأرض من حركة النجم. وللسبب نفسه، يجب على النبضات أن تتباطأ عندما يكون النباض في حالة ابتعاد عن الأرض. فإذا كانت الحال كذلك، يجب على النبضات في الحالة الأولى أن تصل إلى الأرض مبكرة بوقت طويل بسبب سرعتها العالية (والتي يجب أن تساوي، بموجب الفيزياء التقليدية والمفهوم الشائع، مجموع سرعة الضوء مع سرعة اقتراب النجم من الأرض كما في حالة إطلاق رصاصة من سيارة باتجاه حركتها)، وذلك بالمقارنة مع نبضات الحالة الثانية ذات السرعة الأقل (والتي يجب أن تساوي هنا الفرق بين سرعة النباض وسرعة الضوء). لذلك، وإذا كان هذا صحيحاً، وبسبب المسافة الشاسعة بين النباض المثنى والأرض، فإن لحظات وصول النبضات من النجم ستكون مبعثرة على فترة طويلة من الزمن تمتد على الكثير من السنين، وبالتالي ستكون النبضات الصادرة من آلاف الدورات السابقة للنباض المثنى متداخلة معاً على نحو معقد للغاية. لكن هذا لا يحدث، إذ أن رصد النبضات الواردة يُري أمراً مختلفاً كلياً: قطار منتظم من النبضات المتلاحقة التي تفصل بينها فواصل زمنية ثابتة.

تبدو النتيجة وكأنها اللغز: ليس هناك نبضات سريعة تتجاوز نبضات بطيئة، وإنما كلها تتجه نحو الأرض بسرعة واحدة ومفصولة فيما بينها بفواصل زمنية متساوية. وهذا يبدو على تناقض تام مع دوران النباض المثنى على نفسه، والاستعراض الواضح لهذا التناقض يكمن في أن نفس النبضات التي تصل على نحو منتظم إلى الأرض تحمل معلومات مباشرة عن دوران النباض بسرعة هائلة جداً. إن هذه المعلومات توجد في طبيعة النبضات الراديوية ذاتها، حيث يكون تواتر موجات النبضة الواحدة لدى اقتراب النباض أكبر منه حين ابتعاده. يُعبَّر فيزيائياً عن هذا عادة بما يُعرف بالانزياح التواتري (الترددي)، وهذا ما نلاحظه في تغير نغمة مزمار سيارة الإسعاف لدى تجاوزها لنا (قبل التجاوز، تكون السيارة مقتربة منا وبعد التجاوز تأخذ بالابتعاد عنا)، وعلى أساس هذا المبدأ يعمل

رادار مراقبة سرعة السيارات. إن الانزياح التواتري في نبضات المثنى يمثل المعلومات المباشرة التي تدل على دورانه.

قبل قرن من الزمن، كان من شأن مثل هذه النتيجة أن تسبب الهلع، أما اليوم فهي أمر متوقع؛ فمنذ عام ١٩٠٥، تنبأ آينشتاين بمثل هذا الأثر بناء على نظريته في النسبية، إذ توصل، من خلال تضافر النظرية الرياضية مع التجربة إلى استنتاج يصعب تصوره: إن سرعة الضوء ثابتة في كل مكان ولكل شخص، وهذا صحيح مهما كان نوع حركته. لقد كانت هذه الخاصة التي يتمتع بها الضوء العقبة العملية التي حالت في تلك الأيام بين الفيزيائيين وبين قياس سرعة الأرض في الفضاء باستخدام الإشارة الضوئية. نحن لن نتوقف كثيراً عند تفاصيل هذا الموضوع هنا، إلا أنه يكفي أن نشير إلى أن سرعة الكرة الأرضية شيء لا مغزى له إطلاقاً، وذلك لأن السرعات النسبية فقط (أي سرعة جسم بالنسبة إلى جسم آخر، ومن هنا يأتي اسم النظرية النسبية) هي التي يمكن أن تقاس. فيما يلي، سوف نركز على المضامين الساحرة لنظرية آينشتاين.

إذا كنت إزاء جسم يتحرك مبتعداً عنك وأخذت بمطاردته، فأنت تتوقع، نتيجة لهذه المطاردة، أن تأخذ المسافة بينك وبينه بالتناقص؛ وبالفعل، إذا بذلت الجهد الكافي في المطاردة، فإنك ستنجح حتى في تجاوز ذلك الجسم؛ بكلمات أخرى، تعتمد السرعة النسبية بينك وبين الجسم على حالتك الحركية، وهي تساوي الفرق بين سرعتيكما. لكن لو كان الجسم الذي تطارده نبضة ضوئية، فلن يكون ذلك صحيحاً. والأغرب من هذا هو أنك مهما حاولت أن تبذل من الجهد في ملاحقة نبضة الضوء، فإنك لن تكسب ولا كيلومتراً واحداً في الساعة بالمقارنة مع سرعة ابتعاد النبضة عنك، وستظل تجد أن النبضة تفرُّ منك بالسرعة نفسها. طبعاً، الضوء سريع جداً، إذ أنه يقطع ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية؛ فلو امتطيت صاروخاً يسير بسرعة ٢٩٠ ألف كيلومتر في الثانية، فإن نبضة الضوء ستبقى مبتعدة عنك بسرعة ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية.

إذا بقي شخص على الأرض يراقب المطاردة، فإنه سيرى نبضة الضوء منطلقة بسرعة ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية أيضاً، كما سوف يرى المطارد منطلقاً بسرعة قريبة من سرعة النبضة. فهو سيرى إذن أن الفجوة بين النبضة والصاروخ تزداد، لكن بمعدل يساوي جزءاً يسيراً من سرعة الضوء، وبالتحديد بمعدل ١٠ آلاف كيلومتر في الثانية فقط. من ناحية أخرى، وإذا قبلنا بمقولة آينشتاين (وقد أثبتت التجربة صحتها)، فإن المطارد في الصاروخ سوف يرى أن المسافة بينه وبين

النبضة الهاربة تزداد بمعدل ثابت يساوي سرعة الضوء، أي بمعدل ٣٠٠ ألف كيلومتر في الثانية. من الواضح أن هناك تناقضاً جلياً بين ما يراه المطارد في الصاروخ وما يراه المراقب على الأرض، فكيف يمكن التوفيق بينهما؟ إن الطريقة الوحيدة التي يمكننا بها التوفيق بين هاتين الملاحظتين المتناقضتين ظاهرياً هي أن نفترض أن العالم بالنسبة للصاروخ يبدو وكأنه يتصرف على نحو مخالف كلياً لما يُرى من الأرض.

يمكن توضيح هذا الاختلاف بشكل أفضل إذا قام رجل فضاء بإجراء تجربة على نبضة ضوئية داخل قمرته الفضائية في لحظة مرورها مباشرة فوق زميل له يقف على الأرض (شكل ٤). في تلك اللحظة، يَدَعُ رجل الفضاء نبضتين من الضوء تنطلقان باتجاهين متعاكسين من منبع ضوئي موجود في مركز الصاروخ تماماً، واحد باتجاه المقدمة والأخرى باتجاه المؤخرة. إن رجل الفضاء سيرى طبعاً النبضتين تصلان إلى كلا نهايتي الصاروخ في لحظة واحدة، ونقول عندئذ عن حادثتي الوصول إنهما متزامنتان. أما بالنسبة للناظر من الأرض، فسيظهر الأمر مختلفاً كلياً. فخلال الوقت الوجيز الذي تستغرقه النبضة لكي تقطع نصف طول الصاروخ، سيكون الصاروخ نفسه قد تحرك إلى الأمام بمقدار ملحوظ. إن الناظر من الأرض يرى أن نبضتي الضوء كلتيهما تتحركان بسرعة واحدة بالنسبة له؛ إلا أن الصاروخ يتحرك بالنسبة له أيضاً، وهذا ما يجعله يرى مقدمة الصاروخ هاربة من النبضة الأولى بينما يرى المؤخرة سائرة نحو النبضة الأخرى لتلاقيها. والنتيجة الحتمية لذلك هي أن الراصد الأرضي سيرى أن النبضة الثانية تصل إلى المؤخرة قبل وصول الأولى إلى المقدمة: إن حادثتي الوصول ليستا متزامنتين بالنسبة للراصد الأرضي، في حين أنهما متزامنتان تماماً بالنسبة لرجل الفضاء. فأيهما الصحيح؟.

الجواب هو أن كلاً منهما على حق فيما يراه، إذ ليس لمفهوم التزامن، أي لمفهوم الآن، معنى كوني عام شامل، فما يُحكَم عليه بأنه الآن من قبل راصد ما، يمكن أن يكون ماضياً أو مستقبلاً بالنسبة لراصد آخر؛ وتبدو النتيجة، للوهلة الأولى، مقلقة لتناقضها مع الحس العام، فإذا كان حاضر امرئ هو ماضي امرئ آخر ومستقبل امرئ ثالث، أفلا يمكن لهم، والحالة هذه، أن يتواصلوا بالإشارات وأن يَعلم أحدهم أمراً من المستقبل قبل وقوعه؟ ماذا يمكن أن يحدث لو أن الشخص الذي أخبر بالمستقبل قام بتغيير هذا المستقبل الذي سبق وتمت رؤيته من قبل شخص آخر؟ لحسن حظ الفيزياء، وبما يحافظ على تماسكها، لا يبدو هذا ممكناً. ففي تجربة الصاروخ السالفة الذكر، لا يستطيع المراقبون المختلفون أن يعلموا بوصول نبضات الضوء إلا إذا بلغهم نبأ من





شكل ٤ : ليس هناك من لحظة حاضر ، ويأتي هذا الاستنتاج المروع من التصرفات الغريبة لنبضات الضوء. فضمن الصاروخ، تصل نبضتا الضوء إلى كل من نهايتيه في آن واحد لأنهما تتحركان بسرعة واحدة (كما يرى رجل الفضاء). وبالنسبة للناظر من الأرض تبدو النبضتان منطلقتين بسرعة واحدة أيضاً، ولذلك فإن النبضة اليسرى تصل إلى المؤخرة قبل وصول اليمنى إلى المقدمة، لأن مؤخرة الصاروخ تسعى نحو إحداهما بينما تهرب المقدمة من الأخرى.

نوع ما . لكن النبأ ذاته يحتاج إلى زمن محدد لانتقاله ، وللتمكن من نقل المعلومات من المستقبل إلى الماضي يجب على الرسالة أن تسافر بسرعة تزيد عن سرعة الضوء. لكن ليس هناك في الكون ما يستطيع السير بأسرع من الضوء، ولذلك فإنه لا يمكن للمعلومات عن المستقبل أن تنتقل إلى الماضي. ولو كان ذلك ممكناً فإن خطراً كبيراً كان سيهدد بنية الكون القائم على السببية ، وذلك لوقوع النتيجة قبل السبب عندئذ . إن المستقبل والماضي ليسا شيئين كونيين عامين ، وإنما ينطبقان فقط على الأحداث التي يمكن أن ترتبط فيما بينها بالإشارات الضوئية .

قد يتساءل المرء عما إذا كان ممكناً للصاروخ أن يتسارع إلى الدرجة التي يبدو فيها للناظر من الأرض متجاوزاً سرعة الضوء. لقد أثبت آينشتاين أن هذا أمر مستحيل: فكلما ازدادت سرعة الصاروخ، كلما ازدادت كتلته وكتلة محتوياته، الأمر الذي يتطلب طاقة أعلى للتغلب على العطالة الإضافية الناجمة عن زيادة الكتلة وبالتالي للحفاظ على التسارع المطلوب. ولدى اقتراب سرعة الصاروخ من سرعة الضوء، تتضاءل الزيادة في سرعة الصاروخ وتضمحل، ولا يمكن لها أن تبلغ سرعة الضوء مهما طال الانتظار. بالطبع، لا يشعر رجل الفضاء أن كتلته تزداد بازدياد سرعة الصاروخ؛ وبدلاً من ذلك، يبدو العالم من حوله مشوهاً على نحو غريب. فالمسافات باتجاه السير تبدو متقلصة، وبالتالي، وكما يظهر من الصاروخ، فإن رجل الفضاء يبدو متسارعاً أكثر وأكثر، وذلك لأنه يرى أن أمامه مسافة أقل ليقطعها في زمن معين.

بالنسبة لرجل فضاء يتحرك بسرعة تساوي ٩ر٩٩٪ من سرعة الضوء، تبدو المسافة بين الشمس والأرض مساوية ٤ر٦ مليون كيلومتر، والزمن اللازم له ليقطعها هو ٢٢ ثانية فقط؛ أما بالنسبة للشخص الموجود على الأرض والذي لا يحس أثر التقلص المذكور، تظهر الشمس على بعد ١٤٨ مليون كيلومتر، والزمن اللازم لرجل الفضاء ليقطع تلك المسافة يبلغ ثماني دقائق. والنتيجة هي أن الزمن في الصاروخ يجري أبطأ منه على الأرض بحوالي أربع وعشرين مرة. أما المفاجأة الأكبر فتحدث عندما ينظر رجل الفضاء إلى الأرض. فإذا كانت الأحداث تجري في الصاروخ أبطأ بأربع وعشرين مرة من جريانها على الأرض، فإن رجل الفضاء سيرى أيضاً أن الأحداث تجري على الأرض أبطأ بأربع وعشرين مرة مما كان يعهد على الأرض، بدلاً من أن تكون أسرع بأربع وعشرين مرة، كما يقول الحس العام. إن كلاً من المراقبين، على الأرض وفي الصاروخ، يرى أن الزمن لدى الآخر يجري أبطأ مما يجري لديه. إن هذه العلاقة المتناظرة بين المراقبين المتحركين تقع في صميم نظرية النسبية التي لا تعطي للحركة معنى إلا بالنسبة لمراقب آخر. ولذلك، فإن من غير الممكن أن نقول إن الصاروخ متحرك والأرض ثابتة أو العكس، إذ أن أي أثر يُرى من قبل مراقب يجب أن يُرى من قبل المراقب الآخر؛ وبالتأكيد، لن يوجد أي تضارب في أن يرى كل من المراقبين زمن الآخر أبطأ من زمنه إذا تذكرنا أنهما لا يستطيعان مطلقاً الاتفاق على لحظة مشتركة تمثل الحاضر: الآن. إن كل ما يمكنهما هو أن يقارنا زمنيهما عن طريق تبادل الإشارات التي يلزمهما لقطع المسافة بينهما زمناً لا يقل عن الزمن اللازم لانتقال الضوء بينهما.

يبدو أثر تمدد الزمن جلياً واضحاً لدى عودة الصاروخ إلى الأرض ومقارنة ميقاتيته مع

الميقاتيات التي لم تبرحها. فالأمر المذهل عندئذ هو اكتشاف أن زمني المراقبين قد انزاحا فيما بينهما بشكل دائم، وما قد يكون مجرد رحلة دامت أربع ساعات بالنسبة لرجل الصاروخ، يستغرق أياماً طويلة من زمن الأرض. إن هذا ليس مجرد وهم نفساني، بل هو واقع فعلي.

لقد شكل مفهوم الزمن المطاط صدمة قوية للحس العام عندما قدمه آينشتاين في نظريته لأول مرة عام ١٩٠٥، لكن منذئذ، تم إثباته في الكثير من التجارب. ومن أكثر التجارب دقة في هذا المجال، تلك التي تستخدم الجسيمات النووية وذلك لسهولة تسريعها حتى تقترب من سرعة الضوء؛ فالجسيمات المعروفة بالميونات مثلاً، والتي تتصف باحتوائها على ميقاتية ذاتية داخلية، يمكن أن تُولد في تفاعلات نووية مسيطر عليها، وهي تتمتع بعمر يدوم حوالي ٢ مكروثانية (جزئين من مليون من الثانية). فلدى تحرك هذا الجسيم بسرعة قريبة من سرعة الضوء، يضاعف امتطاط الزمن من عمره، كما يقاس من قبلنا، عدة مرات. أما بالنسبة للجسيم نفسه، فإن عمره يبقى ٢ مكروثانية فقط، وقد تم اختبار هذا المفعول في المُسرِّع الجسيمي الموجود في مخابر CERN في جنيف عام ١٩٧٧، وأكدت نتيجة الاختبار قيمة تمدد الزمن المتنبأ بها نظرياً بدقة ٢ر٠٪.

إن إحدى الإمكانيات المثيرة للفضول والناتجة عن أثر الامتطاط المذكور هي السفر عبر الزمن. فبالاقتراب من سرعة الضوء أكثر فأكثر، يستطيع رجل الفضاء مط زمنه على نحو هائل بالنسبة لبقية العالم من حوله. وبالانطلاق بسرعة تقل عن سرعة الضوء بـ ١٦٠ كيلومتر في الساعة فقط، يستطيع أن يقطع المسافة إلى أقرب نجم إلينا خارج المجموعة الشمسية (وبُعده عنا يزيد عن أربع سنوات ضوئية) في أقل من يوم واحد من زمنه الخاص، في حين أن زمن الرحلة مقاساً على ميقاتية أرضية يزيد على أربع سنوات؛ فحركة عقاربَ ميقاتيته تبدو للناظر من الأرض أبطأ بـ ١٨٠٠ مرة. وإذا كانت سرعة الصاروخ أقل من سرعة الضوء بـ ٦ر١ كيلومتر فقط في الساعة، فإن معدل امتطاط الزمن يرتفع إلى ١٨٠٠٠ ضعفاً، والرحلة بالنسبة لراكب الصاروخ تبدو وكأنها مجرد جولة قصيرة في باص عبر المدينة، على الرغم من أنها ما زالت تساوي أربع سنوات بالنسبة للمراقب الأرضي. ومنطلقاً بهذه السرعة، يستطيع رجل الفضاء أن يقوم بجولة حول المجرة بكاملها في زمن لا يتعدى بضع سنوات على ميقاتيته، ويعود بعدها إلى الأرض ليجد نفسه في القرن الأربعة آلاف. على أي حال، يبقى السفر عبر الزمن أمراً لا يتجاوز حدود روايات الخيال العلمي، إذ أن رحلة كتلك تحتاج إلى طاقة تكفي التكنولوجيا المعاصرة لملايين السنين؛ لكن ومع ذلك يبقى تمدد الزمن ظاهرة فيزيائية أثبتتها التجارب المتكررة على نحو لا يقبل الشك.

إن الغرض من ذكر هذه الظواهر العجيبة هو التأكيد على أن بعض المفاهيم، كالمكان والزمان، ليست صلبة متماسكة ولا حتى كونية شاملة، كما يظن معظم الناس. إن العنصر الجوهري الذي قامت نظرية النسبية بإدخاله إلى الفيزياء هو العامل الإنساني الشخصي (Subjectivity)، بمعنى نفي الموضوعية والاستقلالية المطلقة عن الأشياء، وربط حالتها بحالة المراقب ذاته. فالأشياء الأساسية، كجريان الزمن، والماضي والحاضر والمستقبل، لم يعد ممكناً اعتبارها إطاراً صلباً نعيش حياتنا فيه، لأنها مائعة مطاطة وقيمتها تعتمد على من يقوم بقياسها. لقد أصبح أمراً لا معنى له أن نسأل، ميقاتية من هي الصحيحة حقاً، أو ما هي المسافة الحقيقية بين موضعين مختلفين، أو ماذا يحصل على المريخ الآن، إذ ليس هناك من دوام زمني أو امتداد مكاني أو حاضر شامل حقيقيين.

لقد وجدنا في بداية هذا الفصل أن نظرية النسبية تتبنى منظوراً جديداً كلياً للماهية الحقيقية للكون؛ ففي الصورة النيوتنية القديمة، يتألف الكون من مجموعة من أشياء متوضعة هنا وهناك في هذه اللحظة. لكن النسبية أظهرت، خلافاً لذلك، أن الأشياء ليست دائماً كما تبدو، وأن المواضع واللحظات تحتمل التأويل. إن صورة الحقيقة لدى النسبيين ما هي إلا عالم مؤلف من الأحداث عوضاً عن الأشياء، والأحداث هي نقاط مكان وزمان بدون امتداد أو استمرار: الساعة الخامسة تماماً في مركز ميدان بيكاديللي في لندن هو حدث (وإن لم يكن حدثاً مثيراً). إن الأحداث هي التي يتفق عليها كل المراقبين وعلى المستوى الكوني الشامل، على الرغم من عدم الاتفاق عموماً على أين ومتى تم حدوثها.

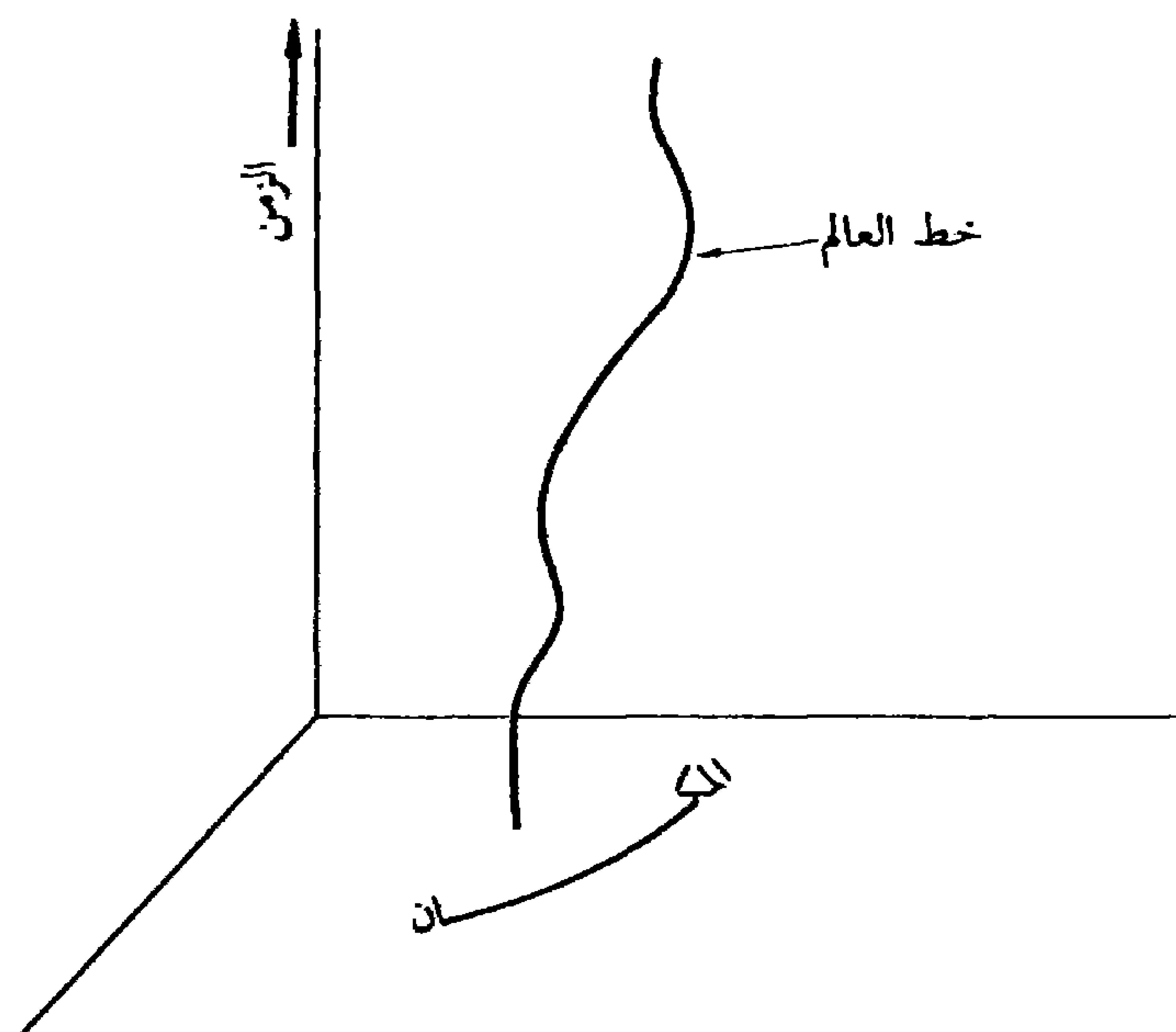
على الرغم من نسبية ما كان يعتبر سابقاً مقادير مطلقة مستقلة بذاتها، ما زال هناك بعض التنظيم القائم على الحس العام للمكان والزمان. فمثلاً، الخلاف على اللحظة الحالية كما يراها مراقبون مختلفون، وامتطاط الزمن، لا يمكن أن يكونا صارخين إلى درجة تؤدي فعلاً إلى انقلاب الماضي على المستقبل بطريقة تُمكن مراقباً منفرداً من ملاحظتها. بكلمات أخرى، وعلى الرغم من أن بعض الأحداث قد تبدو ماضياً لمراقب ومستقبلاً لآخر، فإن تعاقب حدثين مرتبطين بمبدأ السببية سيبقى دائماً في نفس الترتيب. فإذا كان إطلاق النار من مدفع سيؤدي إلى تدمير هدف ما، فلن يكون هناك أي مراقب، مهما كان وصفه للحركة التي يشاهدها، يرى أن الهدف قد تحطم قبل إطلاق النار. إن هذا تعبير عن انحفاظ علاقة السببية، وهو ينتج عن قصور المراقبين عن اختراق جدار الضوء والانطلاق بسرعات تفوق سرعته. ولو كان ذلك ممكناً، لأمكن للسبب والمفعول أن يتبادلا

ترتيب موقعيهما الزمنيين ، لتمكن رجل الفضاء من العودة إلى الماضي كما يمكنه المضي في المستقبل . إن اضطراب السببية الناجم عن زيارة المرء لماضيه ما هو إلا إمكانية خيالية بحتة .

لقد أصبحنا الآن ــ وفي عالم تبدل فيه منظور الزمان والمكان جذرياً ــ بحاجة إلى لغة وهندسة جديدتين تأخذان في الحسبان دور الراصد على أساس عميق . فمفاهيم نيوتن عن المكان والزمان كانت امتداداً طبيعياً لما نراه ونستشعره في حياتنا اليومية ، في حين أن النسبية تتطلب لفهم العالم التجرد والارتقاء من الحس المباشر إلى الإدراك غير المباشر . لقد بين هرمان مينكوفسكي (Hermann Minkowski) في عام ١٩٠٨ أن الظواهر الغريبة كتقلص الأطوال وتمدد الزمن لا تبدو غير طبيعية إذا أقلعنا عن التفكير بالزمان والمكان كلاً على حدة ، واعتمدنا بدلاً من ذلك لهما بنية واحدة : الزمان ــ المكان أو الزمكان (Spacetime) كوحدة غير قابلة للتجزئة . إن الزمكان ليس غولاً ذا أربعة أبعاد اخترعه الرياضيون لإرباك الناس ، بل هو نموذج للعالم الحقيقي أكثر دقة وبساطة من تلك الصورة التي رسمها نيوتن للزمان والمكان المستقلين فيما بينهما . إن مغزى الزمكان يمكن أن يظهر جلياً في أمثلة بسيطة كالامتداد الزمكاني للجسم الإنساني . فمن الواضح أن للجسم الإنساني امتداداً مكانياً (طوله حوالي ستة أقدام) ومدة زمنية (عمره حوالي سبعين عاماً) ، لذلك يكون له امتداد في الزمان ــ المكان ، أي في الزمكان . إن ما يجعل هذه المقولة أكثر من بديهية هو أن الامتدادين المكاني والزماني ليسا مستقلين أحدهما عن الآخر . نحن لا نعني بهذا أن الأشخاص الطوال يعيشون حياة طويلة ، أو أي شيء من هذا القبيل ، وإنما هو تعبير عن أن طول الشخص الموجود على الأرض يمكن أن يبدو لرجل الفضاء المنطلق بسرعة هائلة مساوياً ثلاثة أقدام ، وعمره مئة وأربعين سنة . لفهم هذه النقطة بوضوح يمكن النظر إلى طول الإنسان وعمره كمسقطين لامتداده في الزمكان المؤلف من الأبعاد المكانية الثلاثة بالإضافة إلى البعد الزمني . وكما هي العادة في عمليات الإسقاط ، يعتمد امتداد المسقط فوق محاور الإسقاط على زاوية الإسقاط ، وهذا صحيح في الزمكان كما هو صحيح في المكان . إن تغير سرعة الجسم يمثل دوراناً لمحاور الزمكان يؤدي إلى تغير مساقط الجسم عليها ، حيث يزداد الامتداد المكاني للجسم وينقص امتداده الزمني أو العكس . لكن هذا لا يعني طبعاً تغيراً في حالة الجسم الفيزيائية كما يراها المراقب نفسه ، وإنما يعبر عن الشكل الذي يبدو فيه هذا الشخص بالنسبة لآخر منطلقاً بسرعة كبيرة ، حيث يرى الأخير أن ثلاثة أقدام من طول الأول قد استحالت إلى سبعين سنة إضافية في عمره .

تُظهر الحسابات والأرقام أن تغيراً طفيفاً في مقدار الزمن يكافئ مسافة هائلة جداً ، ويعود

ذلك إلى الدور المركزي الذي تلعبه سرعة الضوء في النسبية ، حيث تمثل عامل التحويل بين المسافة والزمن . فالسنة الواحدة من الزمن تقابل سنة ضوئية واحدة من المسافة المكانية (وهي المسافة التي يقطعها الضوء خلال سنة زمنية واحدة وتساوي ما يزيد على عشرة آلاف مليار كيلومتر) ، والقدم الواحد يقابل حوالي جزء واحد من مليار من الثانية .



شكل ٥ : مخطط الزمكان ، حيث يظهر تاريخ الجسم ممثلاً بمسار في الزمكان ندعوه خط العالم .

ليس الزمكان مجرد وسيلة رياضية لتسهيل استيعاب وفهم تمدد الزمن وتقلص الأطوال . فالكون ، لدى النسبيين ، هو الزمكان ، وهم لا ينظرون إلى الأجسام على أنها تتحرك مع الزمن ، وإنما يرون لها امتداداً في هذا الزمكان . ولبيان الفارق بين المفهومين على نحو واضح ، يمكن الاستعانة بالشكل ٥ الذي يمثل منطقة من مناطق الزمكان . في هذا الشكل ، وبما أنه من غير الممكن رسم أربعة أبعاد على الورق ، فقد اكتفينا ببعدين للمكان فقط بالإضافة إلى بعد الزمن الممثل على المحور الشاقولي . أما الخط المتعرج فيمثل مسار جسم لدى تجواله في الكون . الآن ، لو بقي الجسم ساكناً في مكانه ، فإن الخط سيكون مستقيماً وموازياً للمحور الشاقولي ، أي لمحور الزمن فقط . أما عندما يتحرك الجسم من مكانه ، فإن الخط يتعرج ، ولكن دائماً باتجاه الأعلى ، أي باتجاه القيم

الأكبر للزمن. ففي الشكل ٥، يتحرك الجسم أولاً إلى اليمين والخلف قليلاً، ثم أكثر إلى اليمين حيث يتباطأ بعدئذ ويُغير من اتجاهه. إن هذا المسار في الزمكان يُدعى خط العالم وهو يُعبِّر عن التاريخ الكامل للجسم الذي يمثله. ولو تم تضخيم المخطط في الشكل ٥، بحيث يتسع لكامل الزمكان (أي للكون عبر الدهر كله) لنتجت صورة تمثل كلية الأحداث وتحتوي على كل ما يمكن للفيزياء أن تقوله عن الكون. الآن، وبالعودة إلى السؤال الأساسي عن الماهية الحقيقية للكون، نجد أن النسبيين لا يرونه إلا ذلك الزمكان الممتلئ بخطوط العالم؛ وتبعاً لهذه الصورة للكون، فإن للماضي والمستقبل وجوداً حقيقياً قائماً لا يقل عن حقيقة الحاضر الراهن. وفوق ذلك، ليس هناك حدود تفصل بين الماضي والحاضر والمستقبل، والأحداث لا تحصل في الزمكان، بل تكون فيه.

كيف يمكن لنا أن نُوفِّق بين هذا الكون النسبوي ذي الصورة السكونية الأبدية الوحيدة، وبين الكون الذي نعيش فيه، حيث تحصل الأحداث وتتغير الأشياء؟ إننا لا نحس بالكون على أنه مسرح زمكاني تجوبه شبكة خطوط، فما هو الشيء المفقود في الأمر إذن؟.

يبدو أن خبرتنا الفعلية حول الزمن تختلف في نقطتين جوهريتين عن نموذج الزمن المقدم في هذه النظرية. الاختلاف الأول هو الوجود الواضح لـ «الآن»، أو اللحظة الحالية، في ممارساتنا اليومية، أما الثاني فهو شعورنا بجريان الزمن وتدفقه من الماضي إلى المستقبل. دعنا نعاين أولاً ما هو معنى الآن. إن الحاضر يلعب دورين مختلفين في إدراكنا، فهو يفصل بين الماضي والمستقبل ويمثل الحافة الأمامية لوعينا الماخر عبر الزمن من الماضي إلى المستقبل. إن الحاضر كالسفينة، تترك خلفها أثراً من الذكريات والخبرات وتمتد أمامها المياه المجهولة. قد تبدو هذه الملاحظات طبيعية جداً لدرجة تضعها فوق الشبهة، ومع ذلك، فإن المعاينة الدقيقة تكشف عن الخلل الكبير الذي تتضمنه. إذ لا يمكن أن تكون هناك لحظة حاضر واحدة للكون كله، وذلك لأن كل لحظة في الزمن هي لحظة حاضر عندما تحين. بكلمات أخرى، هناك آنات ماضية ومستقبلة وحاضرة. لكن عدم وجود شيء خارجي عن الزمن يمكن نسب الآنيّة إليه، يجعل من كل ما يمكن أن يقال عنها تحصيل حاصل يدور في حلقة مفرغة.

الأمر الثاني في التناقض بين ما نستشعره في حياتنا اليومية وما تقول به النسبية يتعلق بإحساسنا بجريان الزمن وتدفقه. ففي ممارساتنا اليومية، لدينا شعور داخلي عميق بأن الزمن يجرى من الماضي إلى المستقبل، الأمر الذي يؤدي إلى مسح الماضي من الوجود ليحل المستقبل محله. إن

الكثير من المؤلفات والأعمال الأدبية تعبر عن هذا الانطباع بتشبيه الزمن بالتيار أو النهر المليء بالأحداث، وتصفه بأنه يجري ويطير ويذهب ويأتي... وعلى حد قول القديس أوغستين: «الزمن كالنهر صُنع من حوداث تحصل وتياره جارف، وكل ما يحدث فيه يزول منجرفاً بمجرد حدوثه».

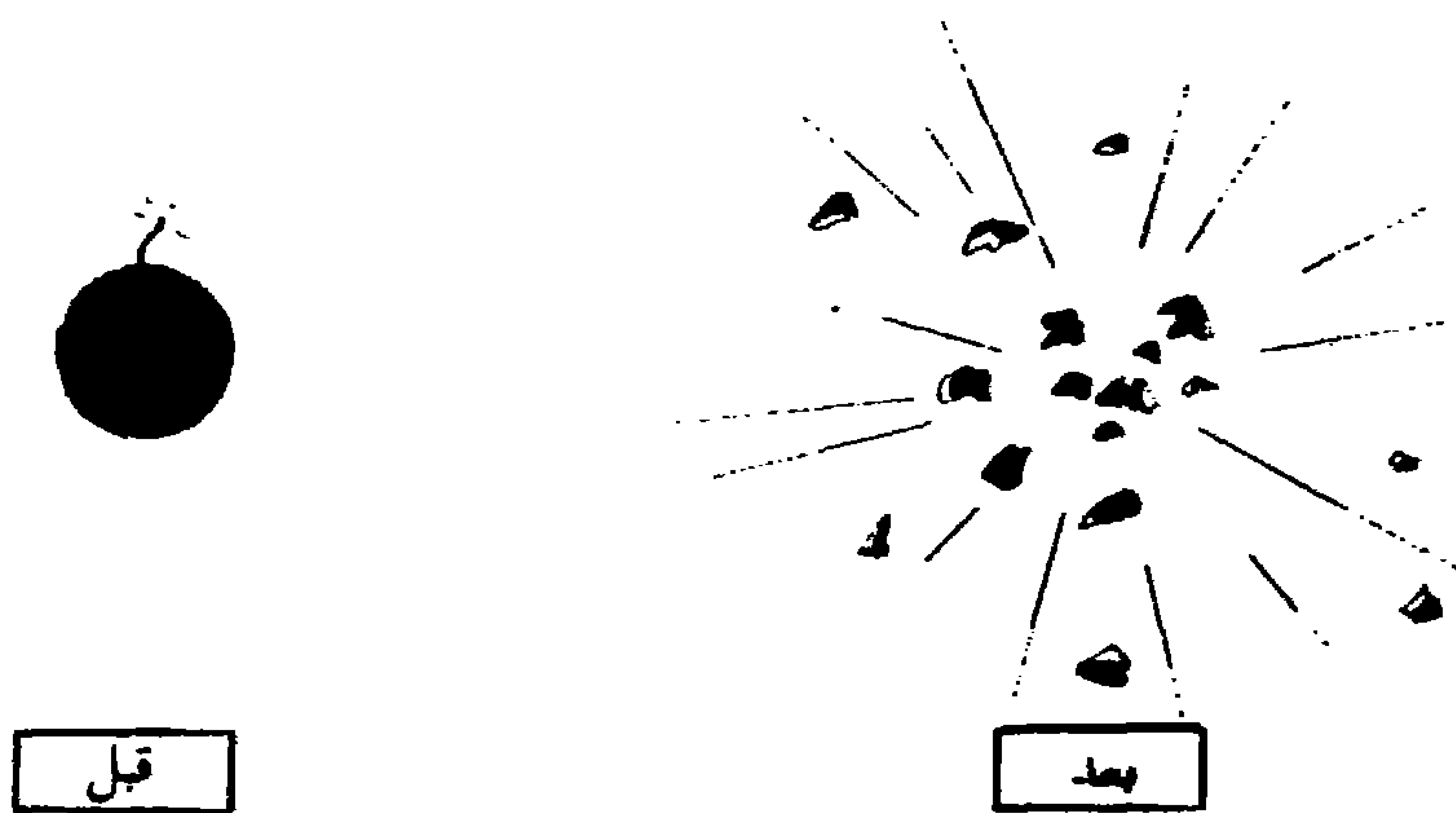
إن هذا الشعور الحركي قوي فينا لدرجة أن الزمن ــ كفعالية ــ يبدو متأصلاً في أعماق خبرتنا. لكن أين هو موقع هذا التيار في خارطة الزمكان؟ إذا كان الزمن يجري، فما هي سرعة جريانه؟ هل هي ثانية كل ثانية، أم يوم في اليوم؟ واضح أن السؤال هنا لا يحمل أي معنى. فعندما نقوم بملاحظة جسم يتحرك عبر المكان، نستخدم الزمن لتحديد سرعة حركته؛ لكن ماذا يمكن لنا أن نستخدم لقياس سرعة مرور الزمن ذاته؟ هنا يفرض السؤال التالي نفسه: هل يجري الزمن حقاً؟ في الواقع، ليس هناك من شيء مما نستطيع قياسه بشكل موضوعي، يمكنه البرهان على أن ذلك يحصل فعلاً، إذ ليس هناك من جهاز يستطيع قياس جريان الزمن أو تحديد سرعته، وإنها لمغالطة عظيمة أن نعتقد أن هذه هي وظيفة الميقاتية. فالميقاتية تقوم عملياً بقياس مدد الزمن لا سرعة مروره. إن الفرق بين الأمرين كالفرق بين وظيفة المسطرة و وظيفة عداد السرعة، وما دور الميقاتية بالنسبة للزمن إلا كدور المسطرة بالنسبة للمكان. لذلك، ليس العالم الموضوعي الذي نعيشه سوى الزمكان بكلية أحداثه في جميع الأمكنة والأزمنة كافة، بدون حاضر ولا ماضٍ ولا مستقبل. إنه لا مفر لنا من الاعتراف بأن خصائص الزمن التي نستشعرها في حياتنا العادية ليست موضوعية على الإطلاق، وما كان لها أن توجد لولا وجودنا كمراقبين واعين. فوجودنا بالذات، كأحياء مدركين، هو الذي يهب الزمن الحياة ويضفي عليه الحركة، وتيار الزمن سوف يتوقف في عالم خالٍ من الحياة.

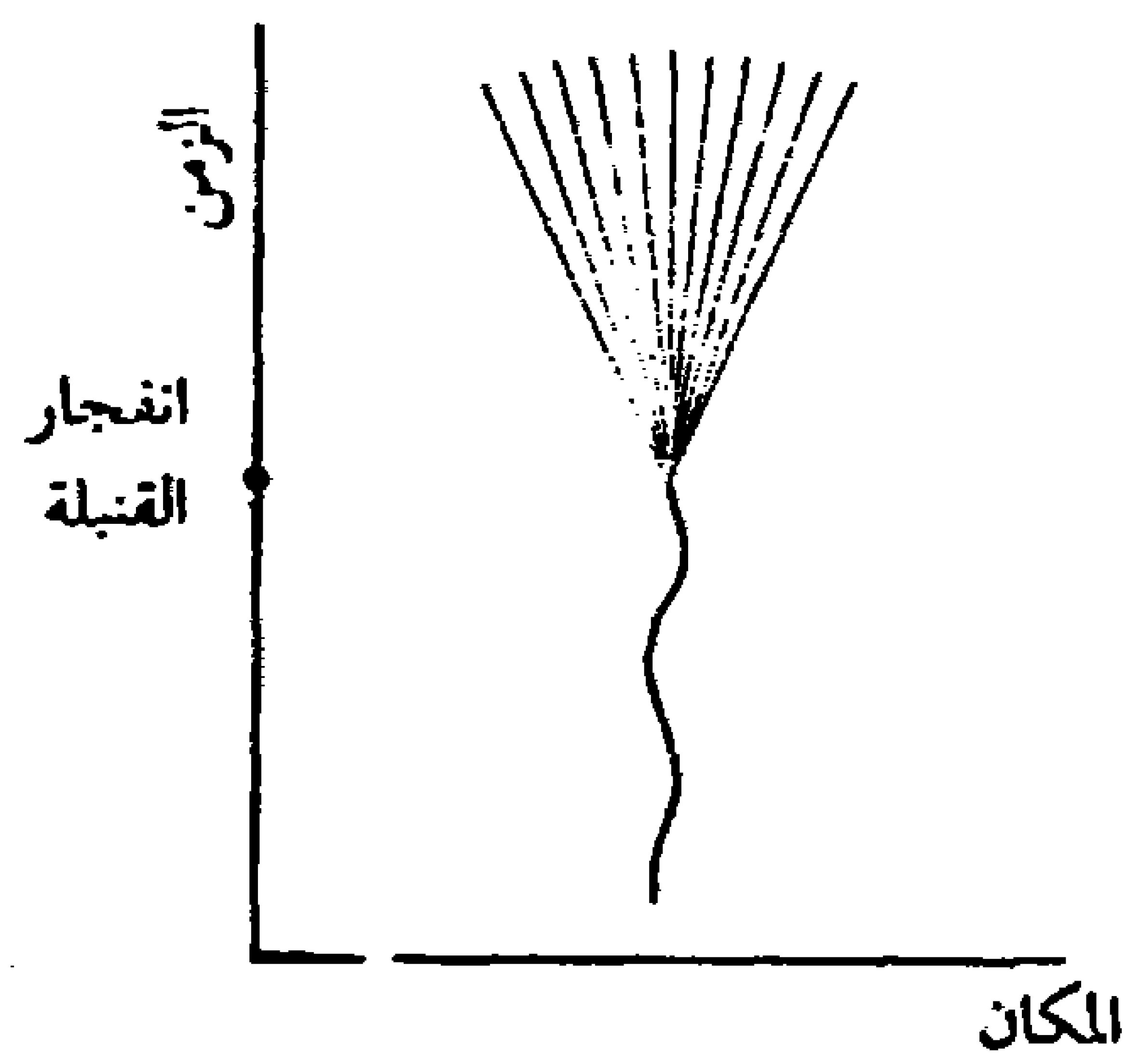
يُردُّ ــ أحياناً ــ جريان الزمن إلى مجرد وهم ناجم عن اضطراب عميق الجذور في البنية الظرفية للغة التي نتحدثها، وربما تكون هناك حياة ذكية متطورة في ركن بعيد من هذا الكون ترى في هذا المفهوم من الغرابة ما يمنعها من استيعابه. من ناحية أخرى، قد يكون عدم التطابق والانسجام بين الزمن الموضوعي والزمن النفساني هو المسؤول عن ذلك الاختلاط في التعبير (الذي لا شك في وجوده). بكلمات أخرى، قد لا يكون انطباعنا عن الزمن الجاري ناجماً عن الاختلاط اللغوي والفكري، بل قد يكون العكس هو الصحيح، أي من محاولة استخدام مفردات ذات جذور عميقة في تعاملنا النفساني مع الزمن من أجل وصف العالم الفيزيائي الموضوعي. وربما ليس الأمر هذا

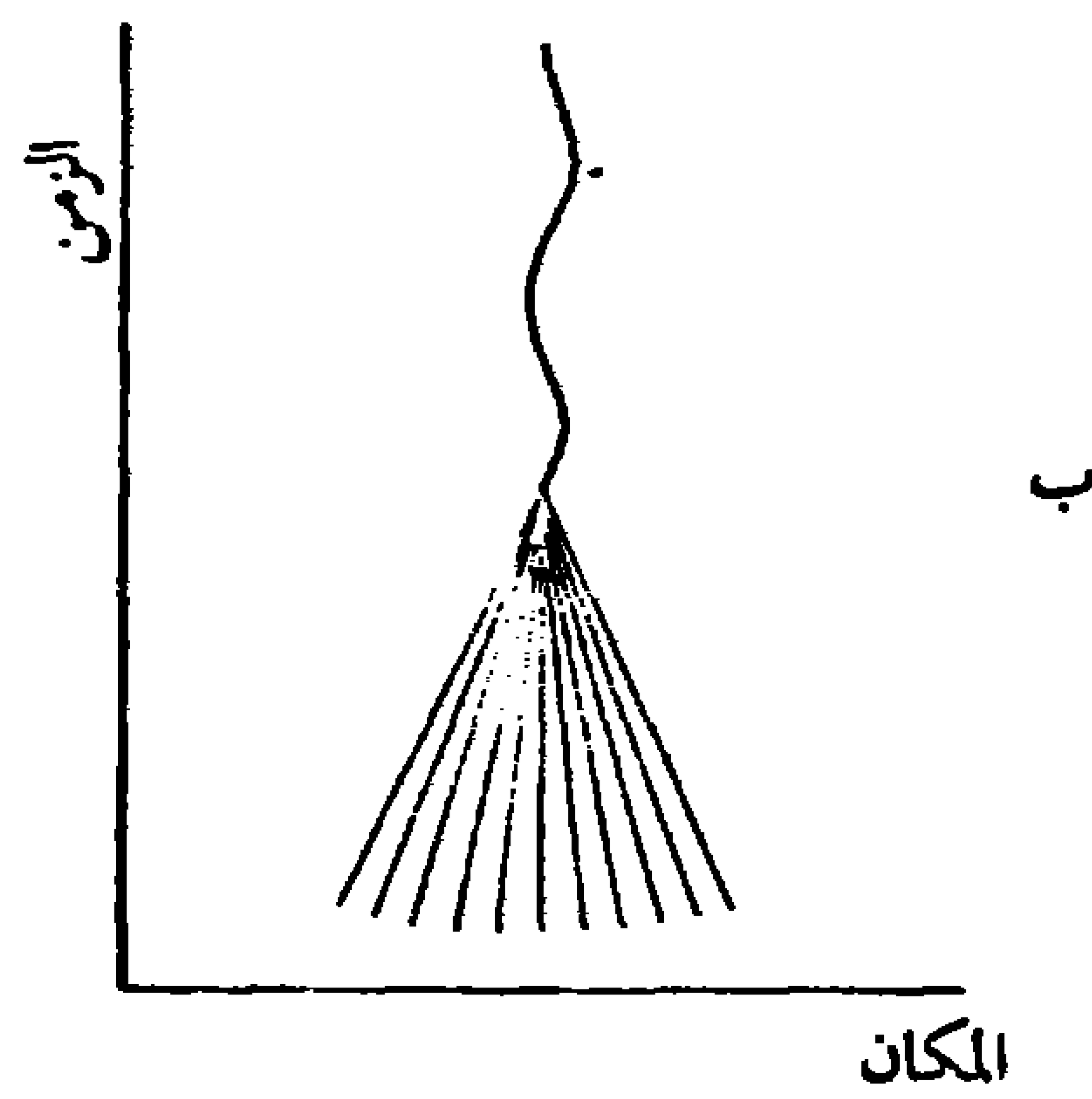
ولا ذاك، فقد يكون هناك في الحقيقة نوعان من الزمن: نفساني ـــ ذاتي وآخر موضوعي، وعلينا عندئذ أن نُوجد نمطين من الحديث لدى الكلام عنهما.

لقد تم أعلاه وضع عبارة «في الحقيقة» بين معترضتين لأن السؤال حول ما هو حقيقي أمر هام هنا. فقد يجادل الكثيرون بأن الحقيقة الحقة يجب أن تكون مستقلة تماماً عن المراقب، وبالتالي لا يمكن للزمن النفساني، أي غير الموضوعي، أن يرتبط بمفهوم الحقيقة بسبب ارتباطه بشخصية المراقب ذاته. على أي حال، الإحساس الشخصي بالزمن في الحياة اليومية أمر مشترك بين كل الناس الذين يستطيعون التخاطب والتواصل، ولذلك قد يكون هذا الإحساس حقيقة لا تقِلُّ عن الجوع والشهوة والغيرة.

يجب أن لا يُفهم مما سبق أنه لم يعد يوجد أي أثر لمفهومي الماضي والمستقبل في الزمكان الموضوعي، إذ من المؤكد أن المرء يستطيع أن يُعَرِّف بعض الأحداث بأنها وقعت في الماضي أو المستقبل بالنسبة إلى أحداث أخرى، ثم يتحقق من ذلك مخبرياً. إن المخطط الزمكاني الذي رسمناه (شكل ٥) يحوي سهماً ذا ذروة (مستقبل) وذيل (ماضٍ) بينهما علاقة لاتناظرية يمكن إيضاحها من خلال المثال التالي. يمثل الشكل ٦ قنبلة تنفجر متحولة إلى شظايا، وهذا حدث نموذجي للتغير اللامتناظر زمنياً لأنه غير عكوس (غير قابل لأن يحدث من النهاية إلى البداية). فلو صورنا حادث الانفجار سينمائياً ثم عرضنا الشريط السينمائي بالمقلوب لعرف المشاهد أنه أمام خدعة مؤكدة، لأنها معجزة تتمثل في عودة تلقائية إلى نسق مرتب من نسق أقل ترتيباً. وعلى النحو نفسه، تمثل عملية قلب المخطط رأساً على عقب، تحولاً مستحيلاً. إن العالم مليء بعوامل التحول على هذا المنوال، وهذا ما ينجم عنه التمييز الموضوعي بين الماضي والمستقبل. لكن هذا لا ينطوي بحد ذاته على تعريف للماضي أو المستقبل، لأن ذلك التمايز لا يختلف في جوهره عن اللاتناظر بين الدوران نحو اليمين أو نحو اليسار: الأرض تدور في عكس اتجاه دوران عقارب الساعة في القطب الشمالي، فهي إذن تدور باتجاه اليسار، إذا شئت، مقدمة بالتالي وسيلة عملية لتمييز اليمين عن اليسار. ومع ذلك، فإننا جميعنا نعلم أن من السخف أن نسأل، بخصوص منطقة ما من الأرض، عما إذا كانت تقع في الطرف الأيسر، أو عن بلد إذا كان يقع في منتصف الطريق بين اليمين واليسار. ذلك أن اليمين واليسار يُعَيِّنان اتجاهين، لا موضعين. كذلك هو الأمر بالنسبة للماضي والمستقبل، فهما يُعبِّران عن اتجاهين في الزمن أو عبره، وبذلك يكون لهما معنى موضوعي، في حين أن نعت الحوادث على







شكل ٦ : ماذا يميز الماضي عن المستقبل؟ إن التحول باتجاه الفوضى يعين سهم الزمن، وهذا واضح في تشظي القنبلة باتجاه سهم الزمن. في المخطط الزمكاني لهذا الحدث يتجلى اللاتناظر بين الماضي والمستقبل في خطوط العالم المتفرعة (الشكل آ)؛ أما الصورة المعكوسة (الشكل ب) فتمثل التجمع التلقائي للشظايا على شكل قنبلة، وهذا حدث معجزة.

أساس أنها ماضٍ أو مستقبل، ليس، على ما يبدو، من الموضوعية في شيء. في الفصل العاشر، سوف نتفحص بتفصيل أكبر طبيعة الزمن وإحساسنا به.

يؤكد التباين بين الزمن الفيزيائي والزمن النفساني، الذي نحسه في حياتنا اليومية، الدور الأساسي الذي يلعبه مفهوم المراقب الواعي في تنظيم إدراكنا للعالم من حولنا. ففي الصورة النيوتنية القديمة، لم يكن للراصد الواعي أي دور يؤديه، وكانت آلة الكون الرتيبة تجري غير آبهة ولا مكترثة بما إذا كان هناك من يرصدها أم لا. أما في النسبية، فالصورة مختلفة تماماً، لأن العلاقات بين الأحداث، كمستقبل وماض، والمسافات الزمنية أصبحت كلها توابع للشخص الذي يرصدها، والصور القديمة لجريان الزمن اختفت من العالم الخارجي لتستقر في الضمائر فقط. إن الخط الفاصل بين ما هو حقيقي وما هو غير موضوعي يبدو غير محدد تماماً، وفكرة وجود عالم حقيقي مستقل عنا قد تنهار من أساسها. وسوف نرى في الفصول القادمة، كيف أن نظرية الكم تتطلب وجود المراقب الواعي في بناء العالم الفيزيائي أيضاً، لكن على نحو أعمق من هذا بكثير.

لقد غيرت النظرية التي نشرها آينشتاين في عام ١٩٠٥ الكثير من المفاهيم التي كانت سائدة آنئذ عن المكان والزمان والحركة، إلا أن ذلك لم يكن سوى البداية. ففي عام ١٩١٥، نشر آينشتاين نظريته الموسعة المسماة بنظرية النسبية العامة التي أتت لتتحدث عن أمور وإمكانات أشد غرابة وأصعب تصديقاً. لقد رأينا فيما سبق، كيف أن كلا من الزمان والمكان على حدة ليس شيئاً مستقلاً بذاته، بل هما كينونتان ممتزجتان بمرونة، وذلك تبعاً لمن يرصدهما. ومع ذلك، بقي الاعتقاد سائداً بأن الزمكان ذا الأبعاد الأربعة متين ومتماسك، إلى أن تم نشر نظرية النسبية العامة التي اقترحت أن الزمكان بذاته مرن ولدن أيضاً، فهو يمتط ويتقلص ويلتوي وينبعج. وهكذا، وبدلاً من أن يكون الزمكان مجرد خشبة مسرح تلعب الأجسام المادية دورها عليها، نجده فعلاً أحد اللاعبين الذين يشاركون في أداء المسرحية الكونية. من الطبيعي أن لا نستطيع أن نتصور ما يمكن للانحناء أن يعني في الوجود ذي الأبعاد الأربعة، لكن هذا الانحناء لا يختلف، على صعيد الرياضيات، عن انحناء الخط الواحد (العالم ذي البعد الواحد) أو تحدب السطح (العالم ذي البعدين).

لا تقف نظرية النسبية العامة عند حد التنبؤ بتشوه الزمكان فحسب، بل تقدم أيضاً مجموعة من المعادلات التي تخبرنا عن شكل التشوه ومقاديره، شأنها في ذلك شأن جميع نظريات الفيزياء المتكاملة. يعود انحناء الزمكان في جوهره إلى المادة والطاقة، ومعادلات آينشتاين الحقلية

(Field Equations) تُمكّن من حساب مقدار الانحناء في نقطة ما من الفراغ داخل وحول توزع ما للمادة والطاقة . وكما هو متوقع ، فإن لانحناء الزمكان تأثيراً بالغاً على خطوط العالم المتشابكة للمادة فيه ، فبانحنائه تنحني تلك الخطوط أيضاً ، وعندها يبرز السؤال عن ماهية الآثار الفيزيائية التي سيعانيها الجسم المادي نتيجة التبدل في شكل خط العالم الذي يمثله . لقد بينا في التعليق على الشكل ٥ أن انحناء خط العالم يمثل حركة متسارعة للجسم الممثل بذلك الخط ، وبالتالي فإن أثر انحناء الزمكان هو تغير في حركة الأجسام الموجودة فيه . عادة ، ينسب تغير الحركة إلى وجود قوة ، ولهذا يتجلى انحناء الزمكان لنا على شكل قوة من نوع ما ؛ وبما أن الأجسام المادية كافة ، وبصرف النظر عن بنيتها الداخلية ، سوف تعاني من التشوه والانحناء ، فإن هذه القوة تتمتع بخاصة استثنائية تنفرد بها وهي تأثيرها على جميع أشكال المادة دون تمييز (وذلك خلافاً للقوى الكهربائية والمغناطيسية والنووية) . إن القوة الفيزيائية التي تتمتع بهذه الخاصة معروفة لنا جميعاً : إنها الثقالة (Gravity) . لقد بين غاليليو ، كما أثبتت التجارب فيما بعد بدقة عالية ، أن كل الأجسام تتحرك بسرعة واحدة تحت تأثير الثقالة (جاذبية الأرض) وبشكل مستقل تماماً عن كتلتها أو بنيتها الداخلية ؛ وهذا يتضمن أن قوة الثقالة هي خاصة تتعلق بالفضاء الذي يتحرك الجسم فيه ، وليس بالجسم ذاته . وحسب رأي جون ويلر (John Weeler) ، الفيزيائي الأمريكي الذي طور نظرية النسبية العامة بشكل كبير فيما بعد ، تتلقى المادة أوامر حركتها مباشرة من الفضاء نفسه ، ولذلك يجب النظر إلى الثقالة على أنها مفعول هندسي فراغي ، وليس قوة بالمعنى المألوف . إن الفضاء يُخبر المادة عن الكيفية التي يجب أن تتحرك بها ، بينما تخبر المادة الفضاء عن الكيفية التي يجب أن ينحني وفقها ، ومن وجهة النظر هذه ، يكون تفسير نظرية النسبية العامة للثقالة هو أنها تشوه في هندسة الزمكان .

هناك العديد من التجارب الشهيرة التي قيس فيها مقدار تشوه الزمكان داخل المنظومة الشمسية . فقد عُرف لمدة طويلة أن كوكب عطارد يعاني من اضطراب مبهم في حركته : كان مداره يلتوي بمقدار ٤٣ ثانية قوسية كل قرن تقريباً . وعلى الرغم من ضآلة هذه الظاهرة ، فقد أمكن قياسها ، وتبين عجز مفهوم الثقالة في ميكانيك نيوتن عن تفسيرها (ناهيك عن التنبؤ بها) . وعندما نشر آينشتاين نظريته ، تنبأ بتصحيحات طفيفة يجب إدخالها على نظرية نيوتن كنتيجة لانحناء الزمكان ، و وجد أن مقدار هذا التصحيح هو ٤٣ ثانية قوسية كل قرن . وكان هذا نصراً كبيراً لنظرية آينشتاين ، إلا أنه لم يكن سوى القَطْر الذي يسبق الغيث . ففي عام ١٩١٩ ، قام الفلكي آرثر إدينغتون (Eddington) باختبار نظرية انحناء الزمكان ، وذلك بالنظر إلى النجوم باتجاه الشمس

خلال كسوف تام لها (الكسوف يجعل النجوم مرئية في النهار حتى ولو كانت متوضعة في السماء باتجاه الشمس)، حيث وجد، طبقاً لما تم التنبؤ به نظرياً، أن هناك تشوهاً ضئيلاً جداً، لكنه قابل للقياس، في مواضع النجوم عندما يُنظر إليها والشمس باتجاهها بالمقارنة مع مواضعها عندما تكون الشمس في مكان آخر من السماء. بتعبير آخر، فإن الشمس في تجوالها على صفحة السماء، تلوي صورة الفضاء على نفسها، بما فيها من نجوم نراها.

لهذه النظرية اختبار حاسم آخر تم إجراؤه باستخدام الثقالة الأرضية. فحسب النسبية العامة، يمتط الزمن أو ينكمش بالثقالة بنفس الطريقة التي يتأثر فيها بالحركة السريعة. هذا يعني أن الميقاتيات الموجودة على سطح الأرض يجب أن تقصر بالمقارنة مع ميقاتيات موجودة على ارتفاع عال حيث تضعف الثقالة ولو بمقدار ضئيل. إن تغير شدة الثقالة الأرضية مع الارتفاع ضئيل للغاية (واحد من مئة مليار بالمئة لكل كيلومتر شاقولي)، إلا أن التطور التكنولوجي الحديث جعل مثل هذا الفرق قابلاً للقياس. ففي عام ١٩٥٩، قام العلماء في جامعة هارفارد (Harvard University) بإجراء تجربة تجلى فيها أثر الثقالة على امتطاط الزمن بشكل واضح، حيث اعتمدوا في تجربتهم تلك على خاصة الاهتزاز الطبيعي الداخلي لنوى الحديد المشع كميقاتية ذات دقة عالية للغاية. تُصدر نوى الحديد المشع عادة أشعة غاما، وهذه تتألف من فوتونات ضوئية ذات تواتر داخلي يساوي حوالي ثلاثة ملايين مليون مليون هزة كل ثانية، ولدى مصادفة هذه الأشعة لنوى الحديد ثانية، فإن الأخيرة تمتصها بالكامل. في التجربة المذكورة، تم قذف أشعة غاما تلك شاقولياً إلى قمة برج ارتفاعه ٢٢٫٥ متراً، حيث تلتقي مع نوى حديد أخرى. إن من شأن هذه النوى عادة أن تمتص تلك الأشعة الغاماوية، ولكن بما أن الزمن في قمة البرج ممتط بالمقارنة معه في القاعدة، فإن الأشعة تجد أن التواتر الطبيعي الداخلي لنوى الحديد في القمة لا يتجاوب مع تواترها الذي اكتسبته لدى انطلاقها من القاعدة، وهذا ما يمنع امتصاصها المتوقع. بذلك تم قياس الامتطاط الزمني الذي تسببه الثقالة الأرضية.

ومؤخراً تم التحقق من تشوه الزمن الناجم عن الثقالة الأرضية باستخدام جهاز مازر (MASER) هيدروجيني محمول في مركبة فضائية. والمازر هو نوع من الليزر يهتز بتواترات قريبة من تواترات الأمواج الراديوية القصيرة بثبات جيد جداً. باتخاذ الإيقاع التواتري المازري كميقاتية، تمكن العلماء من مراقبة الزمن داخل المركبة الفضائية بالمقارنة مع مازر مماثل على الأرض، وقد تبين من هذه المقارنة أن الزمن على ارتفاع عشرة آلاف كيلومتر عن سطح الأرض يتقلص بنسبة نصف بالمليار.

لقد تم قياس هذا الفرق، على ضآلته، فكان ذلك شاهداً على صحة النظرية وعلى أن الزمن أكثر تقلصاً في الفضاء البعيد عن الأرض.

إن أثر امتطاط الزمن يتفاقم باشتداد الثقالة؛ فمن أجل النجم النتروني (انظر صفحة ٤٤) يبلغ التباين بين سرعة الميقاتية على سطحه وسرعتها على مسافة بعيدة عنه قرابة واحد في المئة، وذلك بسبب الثقالة الهائلة على سطح النجم والتي تتلاشى تدريجياً بالابتعاد عنه. وفي النجوم ذات الكتلة الأكبر بكثير من كتلة النجم النتروني، تؤدي الثقالة إلى انكماش حجم النجم وبالتالي إلى اشتداد الثقالة أكثر فأكثر، ولو انكمش نجم له كتلة تعادل كتلة الشمس حتى بلغ قطره بضعة كيلومترات لأصبحت الثقالة على سطحه هائلة الشدة، ولأصبح النجم عاجزاً عن تحمل وزنه الخاص ولانقبض بعنف صائراً إلى ما يشبه العدم في غضون مكرو ثانية واحدة. عندئذ، تزداد ثقالته عند سطحه لدرجة تجعل الزمن يتجمد حتى السكون بالمقارنة مع المناطق البعيدة عنه، مما يحدو بالراصد النائي أن يتوقع أن الميقاتيات هناك قد تَسمَّرت كلياً. لكن هذا الراصد لا يستطيع عملياً رؤية الميقاتيات الموجودة بجوار النجم المنكمش وذلك لأن حركة الضوء الخارج من محيط النجم قد تجمدت أيضاً في الزمن، وعلى هذا تبدو الفجوة التي يتركها النجم المختفي مكانه سوداء تماماً: إنها ثقب أسود. إن الثقوب السوداء هي المصير المحتوم، كما يرى كثير من الفلكيين، لجميع النجوم ذات الكتلة الأكبر بقليل من كتلة شمسنا.

إذا هوى راصد في الثقب الأسود مخترقاً ذلك السطح المتجمد، فإنه لن يرى الزمن هناك يتصرف بطريقة غير مألوفة؛ ففي مرجع المقارنة المرتبط به، تجري الأحداث بإيقاعها كما يعرفها، لكن سلمه الزمني هنا يختلف بما لا يقاس عن الزمن في المناطق النائية. وفي أثناء اقترابه من حافة الزمن المتجمد، الذي قد لا يستغرق سوى بضعة أجزاء من مليون من الثانية بالنسبة له، يكون الدهر بكامله قد انقضى في أجزاء أخرى من الكون الذي يكون بدوره قد تلاشى. إن التداعي الزمني يزداد بلا حدود، ولدى وصول المراقب أخيراً إلى حافة الزمن المتجمد، فإنه يصبح خلف الزمن بالنسبة للعالم الخارجي، الأمر الذي يتضمن عدم إمكانية خروجه مطلقاً من الثقب الأسود ليعود إلى عالمنا. إذ لكي يستطيع ذلك، عليه أن يسافر في الزمن إلى الوراء لكي يظهر من الثقب قبل أن يكون قد دخل فيه.

على الرغم من أن كل ما في الثقب الأسود هو الخلود من وجهة نظر العالم الخارجي، يبقى هذا الثقب بقعة من الزمكان كأي بقعة أخرى من الكون، وذلك من ناحية خصائصة المحلية. لكن

لدى دخول الراصد إلى منطقة الثقب، ستؤدي الثقالة إلى بعض الشعور بعدم الراحة لديه، وذلك بسبب دخول قدميه بسرعة تختلف عن سرعة دخول رأسه، إلا أن حركة الزمن بالنسبة له تبقى عادية تماماً. قد يتساءل المرء هنا عن مصير المراقب الداخل إلى الثقب الأسود وعما ستؤول إليه حاله. إن ما يمكن تصوره حول ذلك هو أنه بعد الدخول إلى الثقب قد يخرج منه إلى عالم جديد كلياً، إلا أن هناك بعض الدلائل على أن هذا لن يحصل. لكن، إذا لم يكن متاحاً للمراقب أن يعود إلى عالمنا أو أن يخرج إلى عالم جديد آخر أو أن يمنع نفسه من السقوط المستمر داخل الثقب، فإلى أين يذهب؟ سوف نرى في الفصل الخامس أنه سيضطر إلى مغادرة الزمكان بكامله وإلى الاختفاء من الوجود كلياً والانتقال إلى العدم، وذلك من وجهة نظر العالم الفيزيائي المعروف. في الفصول الأخيرة من الكتاب، سوف نعود ثانية للثقوب السوداء وإلى دورها الهام في الخصوصية التي يتميز بها كوننا عن الأكوان الأخرى.

إن دخول الثقالة في بنية نظرية النسبية يُقوِّض مفهومنا الشائع عن عالم متماسك في ماديته، فقد أصبح الزمكان شيئاً قُلَّباً (ديناميا) قادراً على الحركة والتغير والالتواء والالتفاف، لا مجرد حلبة لحدوث الأمور. لقد أصبح من غير المقبول تبني وجهة النظر النيوتنية في محاولة فهم تطور العالم في الزمان، وغدا من الواجب أن نأخذ بالحسبان ما يحدث في مصنع الزمكان أيضاً. لكن الثمن الذي علينا أن ندفعه لهذا الزمكان الطفور هو أن نقبل بإمكانية أن يهدم نفسه ليخرج من دائرة الوجود برمته. إن معادلات آينشتاين تتنبأ بحركة التفافية وثيقة الصلة بظروف المادة والطاقة، وبأن ظروفاً قد تحدث فتجعل الزمكان يتقوس على نفسه بشدة لا حدود لها. عندئذ، وباشتداد الجاذبية يشتد انطواء الزمكان على نفسه حتى يصبح أثراً بعد عين. وهذا ما يراه بعض الفلكيين لا بد حاصل لهذا الكون بأسره: انتحار كاميكازي يغوص به إلى العدم.

تنضم قوى الثقالة الخاصة بجميع أجزاء هذا الكون، في أوسع مداه، بعضاً إلى بعض؛ فلا غرابة إذن في أن يكون مفعولها بارز الشأن في علم الكون الذي نحن بصدده. إن لمرونة الزمكان أهمية يمكن أن تتجلى في أمرين. أولهما ما اقترحه آينشتاين من أن الفضاء قد لا يكون متناهياً في مداه، لكنه، على غرار سطح الكرة، ينغلق على نفسه واصلاً مُبتدأه بمنتهاه ليُشكل كرة فائقة: كرة زمكانية ذات أربعة أبعاد (الكرة سطح مغلق ذو بعدين). إننا لا نستطيع أن نتصور بالذهن تلك الكرة الفائقة، إلا أننا نستطيع حساب خصائصها، وإحدى هذه الخصائص تتمثل في إمكانية السفر على سطحها في اتجاه واحد حتى ينتهي المطاف إلى نقطة الانطلاق. ومن الخصائص الأخرى

لذلك السطح الفراغي المقترح هي أنه على الرغم من أنه محدود بحجمه، فإنه بدون حدود ولا حواجز وليس فيه مركز أو حافة؛ لنلاحظ أن كل هذه الخصائص تتوفر في السطح الكروي العادي أيضاً ومثاله الكرة الأرضية. إنه ليس معروفاً حتى الآن ما إذا كانت كمية المادة الموجودة في الكون كافية لتكوين هذا الشكل المنغلق على نفسه.

الأمر الآخر الذي قد تتجلى فيه مرونة الزمكان هو أن الفضاء في مداه الكوني (الأوسع من مدى المجرات جميعاً) قد لا يكون في حالة استقرار مستديم، بل في حالة توسع أو تقلص. ففي أواخر العشرينيات من هذا القرن، اكتشف الفلكي الأمريكي هَبْل (Edwin Hubble) أن الكون آخذ بالتمدد والاتساع باضطراد، بمعنى أن الفضاء ذاته يتمدد في جميع الاتجاهات وعلى نحو شديد الانتظام، وهذه ظاهرة سوف نعود إليها فيما بعد بتفصيل كبير. لقد لاحظ هبل أن المجرات البعيدة متقهقرة عنا ومبتعدة بعضها عن بعض باستمرار بفعل توسع الفضاء نفسه، وقد وجد الدليل على ذلك في انزياح أطوال موجات الضوء الواردة إلينا من تلك المجرات نحو الموجات القصيرة، تلك الخاصة التي ناقشناها في الصفحة ٤٥ في معرض الحديث عن النباض المثنى. يتمثل هذا الانزياح في مجال الضوء المرئي في أن نور المجرات يبدو لنا أكثر احمراراً مما لو كانت المجرة ثابتة البعد عنا، والانزياح نحو الأحمر يزداد طرداً مع المسافة التي تفصل المجرة عنا. يجب أن لا يُفهم من هذا، ومن قولنا بأن كل المجرات تبدو متقهقرة عنا، أننا موجودون في مركز الكون، إذ أن ما نلاحظه عن جميع المجرات يمكن أن يُرى من أي مجرة أخرى. فالمجرات لا تتقهقر عن أي بقعة خاصة، لأنه ليس هناك مركز أو حافة للكون يمكن تمييزها حتى بأقوى تلسكوباتنا.

إذا كانت المجرات آخذة بالتباعد فيما بينها، فإن هذا يعني أنها كانت متجاورة في الماضي، وعندما ينظر الفلكيون إلى مناطق الكون النائية (بمجراتها) فإنهم يرونها كما كانت في قديم الزمان، وذلك لأن الضوء القادم من الأجسام البعيدة جداً والذي نراه اليوم بالتلسكوبات يحتاج إلى عدة مليارات من السنين ليصل إلينا، وذلك تبعاً لبعد تلك الأجسام عنا. إن التلسكوبات تعطينا اليوم صورة لما كان عليه الكون في الماضي السحيق، وباستخدام التلسكوبات الراديوية، قد يصل الماضي الذي يمكن رؤيته إلى حوالي خمسة عشر مليار سنة قبل اليوم، حين كان هناك شيء هام: لم تكن عندئذ هناك مجرات؛ فبناء الكون الذي نرصده اليوم، بما فيه من نجوم وكواكب وحتى من ذرات عادية، قد لا يكون قائماً حينئذ. تمثل تلك الفترة المبكرة من عمر الكون أحد الموضوعات الأساسية لهذا الكتاب، وسوف نتعرض لها بالتفصيل في الفصل التاسع، بينما نكتفي هنا بالقول أن

سرعة توسع الكون كانت حينئذ أكبر مما هي اليوم ، وأن محتواه من المادة كان أعلى كثافة وأشد حرارة بما لا يوصف . تدعى تلك الفترة الساخنة الكثيفة المتفجرة بالانفجار الأعظم (Big Bang) ، ويعتقد بعض الفلكيين أنها لا تمثل بداية الكون الذي نعرفه اليوم فحسب ، بل وربما بداية الزمن ذاته . إن الانفجار الأعظم ، حسبما نرى ، ليس انفجار حفنة من المادة في فضاء سابق الوجود ، وذلك لأن هذا يعني وجود نواة مركزية وحافة لتوزع المادة . إن ما يمثله الانفجار الأعظم على ما يبدو ، هو حافة الوجود ذاته ، هذا المفهوم الذي سوف يتضح أكثر في الفصول القادمة .

٣

الفوضى في العالم دون الذري

نظر الإنسان عبر التاريخ إلى علاقته بالعالم من حوله على نحو مزدوج: كمراقب وكمشارك. فمن الناحية الأولى، نحن نعي الفعاليات الفيزيائية المحيطة بنا، كما نُكوِّن لها نماذج فكرية تعكس النشاط الخارجي. أما من الناحية الثانية، فإننا نملك الحوافز والدوافع للتأثير على العالم الخارجي، كأفراد من خلال حياتنا اليومية، وكجماعات باستخدام وسائل تكنولوجية تساعد في السيطرة على ما يحيط بنا. إن التكنولوجيا، ورغم تواضع نتائجها بالمقارنة مع المؤثرات الكونية الطبيعية العظيمة، تمثل برهاناً على أن وجود الأجناس البيولوجية المدعوة بشراً، يسهم في تشكيل صورة هذا العالم، وإن كان إسهاماً ضئيلاً. بظهور الثورة النيوتنية، بدت مكانة الإنسان كمشارك في أحداث الكون جوفاء بعض الشيء؛ إذ على الرغم من أن إسهامه أمر يصعب إنكاره، فإنه لا يمكن تمييز الإنسان ذي الدوافع الميكانيكية، والذي يعيش في عالم ميكانيكي، عن الآلات التي يصنعها هو نفسه. إنه حتى مع الجهود الكبيرة التي يبذلها لتطويع محيطه بأدق تفاصيله، بدت فعالياته محددة سلفاً كقدر محتوم لا حيلة له فيه، بالضبط كحركة الكواكب على مداراتها في الفضاء الكوني.

دعنا الآن نتفحص النظرة النيوتنية إلى الإنسان في دوره كمراقب ونطرح السؤال عن المقصود من فعل المراقبة. إن ميكانيك نيوتن يُصوِّر الكون على أنه شبكة من التأثيرات المتداخلة والمعقدة، حيث كل ذرة فيه تؤثر على كل ذرة أخرى بقوة ضئيلة جداً لكن غير مهملة. في الواقع، تتلاشى جميع القوى التي نعرفها مع المسافة، وهذا ما يجعلنا نهمل أثر المشتري، مثلاً، على أمواج البحر أو لا نكترث لأثر حركة مجرة بعيدة عنا لدى ركوبنا الطائرة. لو كانت القوى لا تتلاشى مع

المسافة، لوقعت الأحداث على الأرض تحت تأثير أبعد مادة في الكون. ومع ذلك، فإن ميكانيك نيوتن يقول بوجود أثر، وإن كان لامتناهياً في الصغر، يمكنه أن يتدخل في حركة جزيئات المادة، حتى على مسافات هائلة جداً.

من الواضح أن هناك مشكلة فلسفية تخص التناقض بين كونٍ تجمع أجزاءه قوى خفية، وبين منهجية تحديد قوانين الطبيعة بعزل الجمل الفيزيائية عن محيطها، كما قدمنا في الفصل الأول. فإذا كنا لا نستطيع تحرير المادة من شبكة القوى الضامة لها، فإن تلك المادة لا يمكن أبداً أن تصبح معزولة بكل معنى هذه الصفة، ولن تكون القوانين الرياضية التي نستنبطها، في أحسن الأحوال، سوى صورة مثالية مستقرأة من العالم الحقيقي. وفوق ذلك، فإنه لا يمكن قبول المفهوم الأساسي المتعلق بمبدأ التكرارية، والقاضي بأن الجمل المتماثلة يجب أن تتصرف بأساليب متطابقة، ذلك أنه لا توجد جمل متطابقة؛ فالعالم يتغير من يوم لآخر ومن موضع لآخر، ولا يمكن لشبكة القوى الكونية أن تبقى مطابقة نفسها أبداً.

لكن على الرغم من هذه الاعتراضات كلها، فإن العلم العملي يتقدم مضطرداً على أساس أن تأثير كوكب المشتري، مثلاً، على سيارة متحركة أضعف من أن يُستشعر بأي جهاز قياس. ومع هذا، وعندما يخص الأمر إجراء عملية قياس، فإن هذه القوى الضئيلة نفسها هي التي تلعب الدور الأساسي، إذ لو لم يكن للمشتري شيء من التأثير الذي أمكن كشفه لما أمكن اكتشاف وجوده. لذلك فإن النتيجة التي لا مفر منها، هي أن كل عملية رصد وملاحظة تستدعي تفاعلاً من نوع ما. فنحن نرى المشتري بفعل فوتونات ضوء الشمس التي تنعكس عن ذرات جوّه، ثم تقطع عدة مئات الملايين من الكيلومترات عبر الفضاء لتخترق جو الأرض ثم لتسقط على شبكية العين حيث تؤدي إلى تحرر الالكترونات من ذراتها. إن هذا الاضطراب الذي يحصل في شبكية العين، يؤدي إلى ظهور إشارة كهربائية صغيرة جداً تنقلها الأعصاب البصرية إلى الدماغ الذي يتولد فيه عندئذ الإحساس بالمشتري. من هذا يتضح أن أثر المشتري على حركة السيارة، وإن كان ضئيلاً للغاية، يبقى كبيراً محسوساً من قبل جملة أخرى كالعين مثلاً ومن ثم الدماغ الذي يرتبط عملياً بذلك الكوكب من خلال القوى الكهرطيسية المتمثلة بفوتونات ضوء الشمس. وبتوسيع سلسلة التفاعل الكهرطيسي المذكورة عن طريق استخدام التلسكوبات، يمكن لأدمغتنا أن ترتبط مع سطوح نجوم تبعد عنا حتى مليارات السنين الضوئية.

إن إحدى الخصائص الهامة في أنماط التفاعل كافة هي أنه إذا سببت جملة فيزيائية

ما اضطراباً في جملة أخرى، مسجلة بذلك وجودها لديها، فسيكون للجملة الثانية رد فعل مؤكد على الجملة الأولى يؤدي بدوره إلى إحداث اضطراب فيها. إن مبدأ الفعل وردِّ الفعل أمر مألوف من خلال القياسات والملاحظات الشائعة التي نجريها في حياتنا اليومية. فلقياس شدة تيار كهربائي مثلاً، يتم إدخال مقياس تيار في الدارة الكهربائية، إلا أن وجود المقياس بالذات ضمن الدارة يمثل مقاومة تؤدي، ولو جزئياً، إلى تغيير قيمة التيار الذي يتم قياسه. ولقياس شدة الضوء لا بد لجهاز القياس من امتصاص عيِّنة من الضوء يبني على أساسها قراره. كذلك، لقياس ضغط غاز ما، يمكن أن نجعل الضغط يُشغِّل آلية ما كمقياس الضغط، لكن العمل المبذول عندئذ لتحريك مقياس الضغط سوف يكون على حساب الطاقة الداخلية للغاز، مما يؤدي إلى تغيير حالته وبالتالي ضغطه بالذات. وإذا أردنا قياس درجة حرارة سائل ساخن، يمكننا وضع ميزان حرارة فيه، الأمر الذي يؤدي إلى تسخين الميزان وبالتالي إلى تبريد السائل بمقدار مكافئ. إن ما يشير إليه جهاز القياس، في كل هذه العمليات، لا يمثل بالضبط قيمة المقدار الذي نقيسه بعينه، وإنما الحالة المضطربة الناجمة عن عملية القياس.

في جميع عمليات القياس، كما في الأمثلة السابقة، يتم الوصول إلى الحالة الداخلية للجملة الفيزيائية باستخدام مِجَس ما؛ في بعض الأحيان يتم الوصول إلى حالة الجملة بوساطة تقنيات أقل تأثيراً على الجملة موضوع الاهتمام، كما هو الحال عندما نحدد موضع جسم بمجرد النظر إليه (المشتري مثلاً). لكن، وفي جميع الأحوال، ومن أجل الحصول على معلومات عن الجملة من أي نوع، فإن شكلاً من التأثير لا بد أن ينتقل من تلك الجملة إلى المراقب الذي قد يكون رد فعله على الجملة ملحوظاً، أو ضئيلاً يمكن إهماله. فالضوء نفسه الذي يحمل المعلومات إلينا عن المشتري، والذي يؤثر على الشبكية في أعيننا، يؤثر أيضاً على سطح المشتري بإحداث ضغط ضئيل جداً على سطحه. ولذلك، فإننا عندما ننظر إلى المشتري لا نرى ذلك الكوكب كما هو بذاته، وإنما نرى شكله المضطرب بضوء الشمس؛ والتعليل نفسه يمكن أن يطبق على جميع أشكال القياس والملاحظة حيث لا نرى الأشياء بعينها وإنما التفاعل بينها. فليس هناك ما يمكن أن يُلاحَظ بمعزل عن المؤثرات الأخرى، لأن فعل الملاحظة يجب أن يتضمن ترابطاً من نوع ما.

إن عملية رصد المشتري تمثل حالة لا يملك المراقب فيها إلا دوراً ثانوياً في التحكم بالظروف، فضوء الشمس يسقط على المشترى على أي حال ودون تدخل المراقب. ولذا فإن رد فعل المشتري للضوء الساقط عليه سيحدث سواء اخترنا النظر إليه أم لا. من هذه الزاوية، لا يمكننا الادعاء بأن

المشتري يعاني من اضطراب لأننا اخترنا أن نلاحظه، وإنما يمكننا القول أنه لم يكن بإمكاننا ملاحظته لولا ذلك الاضطراب. أما في المخبر، وكما تبين الأمثلة المدرجة أعلاه، فإن المراقب يشارك مع أجهزته في ظروف التجربة على نحو أكثر مباشرة.

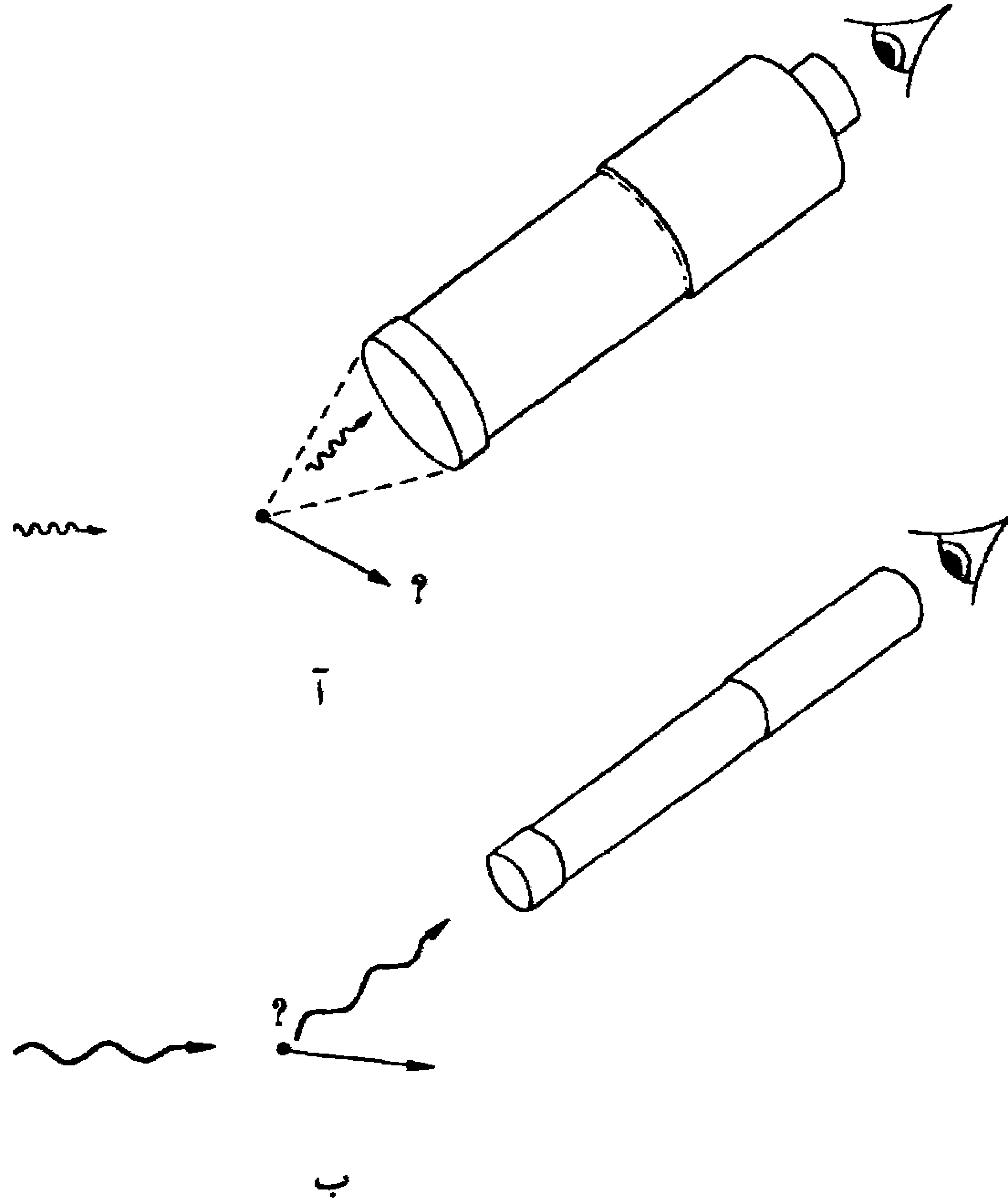
نصل الآن إلى سمة أساسية من سمات عملية الرصد كما تبدو في الصورة النيوتنية، تلك السمة التي استبعدها فيما بعد استيعابنا لنظرية الكم. فأولاً، ولو كانت كل قوانين الفيزياء معروفة تماماً، لأمكننا مسبقاً حساب مقدار الاضطراب الذي يمكن أن تدخله عملية الملاحظة والقياس، وبالتالي أخذه بالحسبان في النتيجة النهائية. فمثلاً يمكن، تصحيح نتيجة قياس درجة حرارة السائل بمعرفة الخصائص الحرارية لميزان الحرارة ولدرجة حرارته البدئية. وبشكل عام، ومن حيث المبدأ على الأقل، وفي عالم تتحدد كل حركة ذرية فيه تماماً حسب قوانين رياضية ثابتة، يمكن تحديد جميع الاضطرابات الناجمة عن عملية القياس، مهما كانت ضئيلة، ومن ثم إدخالها في النتيجة النهائية. ثانياً، وبالاعتماد على مهارات فائقة وإمكانيات تكنولوجية عالية الدقة، فإنه يمكن، حسب النظرية النيوتنية، تخفيض مقدار الاضطراب إلى قيمة لامتناهية في الصغر إلى درجة يمكن بها إهمالها (وهذا ما يطبق فعلاً في أجهزة القياس المخبرية). إن الميكانيك النيوتني لا يضع حداً للقيمة الدنيا للاضطراب الناجم عن التفاعل بين الجمل المختلفة ويرى أنه يمكن تصغيرها بلا حدود. فلو رغبنا، مثلاً، في معرفة موضع جسم ما دون إدخال اضطراب محسوس فيه نتيجة إضاءته بشكل مستمر، يمكننا استخدام رشقة ضوء لفترة قصيرة جداً، ومن ثم تكبير الضوء المنعكس بما يلائم تحصيل المعلومات التي يحملها عن الجسم. وكلما كانت فترة الإضاءة أقصر، كان الاضطراب الناجم عن الجسم أقل؛ إن النيوتنية ترى أنه يمكن أن تكون تلك الفترة لامتناهية في القصر، وتحقيقها عملياً ليس إلا مسألة تكنولوجية بحتة، ويتوقف فقط على ما نحن مستعدون لإنفاقه للوصول إليه، ولا صلة له بالخصائص الفيزيائية الأساسية. باختصار، وحسب النظرية النيوتنية، يمكن للاضطراب الذي تحدثه عملية الملاحظة في جملة فيزيائية ما أن يصل إلى الصفر، من حيث المبدأ على الأقل.

عندما كانت الفيزياء تتعامل مع الأجسام الكبيرة، أي الأجسام المحسوسة في حياتنا اليومية، لم تُعَرْ قضية تحقيق الحد الأدنى من الاضطراب الناجم عن عملية القياس الانتباه الكبير، وذلك لضآلة هذا الاضطراب بالمقارنة مع المقادير المقاسة أصلاً. إلا أن الأمر أخذ بالتغير في بداية القرن، عندما أخذت النظرية الذرية بالتكامل، وتم البدء باستقصاء ودراسة الجسيمات دون الذرية والإشعاعات الصادرة عن النظائر المشعة. فعلى صعيد هذه الجسيمات، يمكن للقوى كافة، مهما

كانت صغيرة بمعاييرنا العادية، أن تؤدي إلى اضطرابات هائلة تتجاوز بكثير حدود المقادير موضوع القياس. لاستيعاب المسألة، تصور ما يمكن أن يحصل لدى محاولة إجراء عملية قياس ما على جسيم لا تزيد أبعاده عن الجزء الواحد من عشرة مليارات من السنتمتر، ولا يزيد وزنه عن جزء واحد من مليون مليار مليار من الغرام. أما عندما يأتي الأمر إلى دراسة جسيمات كالالكترونات مثلاً، ذات الوزن الأخف بألف مرة والحجم غير القابل للتحديد لصغره، تظهر مشاكل أساسية وعميقة، لا على الصعيد العملي فحسب، وإنما على مستوى المبدأ نفسه أيضاً.

دعنا، كمقدمة للمفاهيم العامة في هذا المجال، نستعرض المسألة البسيطة التالية التي تتعلق بتحديد موقع الكترون ما. طبعاً، يجب استخدام مجس ما لهذا الغرض، لكن كيف يمكن أن يتم ذلك دون إحداث اضطراب ملحوظ فيه، أو على الأقل، إحداث اضطراب معلوم يمكن التحكم به بطريقة محددة؟ قد يكون الأسلوب المباشر إلى ذلك أن نحاول رؤية الالكترون باستخدام مجهر ذي تجسيم عالٍ؛ في هذه الحالة، سيكون المجس المستخدم هو الضوء الذي ينير الالكترون وينعكس عنه بحيث يمكننا رؤيته. لكن إضاءة الالكترون، كما في حالة المشتري، مع أخذ فارق الحجم بعين الاعتبار، سوف تُدخل اضطراباً فيه ناجماً عن رد الفعل لضغط الضوء عليه. لن يكون في ذلك طبعاً مشكلة كبيرة إذا كان بإمكاننا حساب سرعة واتجاه الالكترون المرتد، حيث يمكن عندئذ حساب موضعه في لحظات لاحقة من معرفة موضعه في لحظة معينة.

إن الحصول على صورة جيدة في المجهر يستدعي أن تكون عدسته الجسمية ذات فتحة كبيرة، وإلا فإن الضوء، كموجة، لا يستطيع أن يعبر الجسمية دون أن يعاني من التشوه، والسبب في ذلك هو أن الموجة الضوئية تعاني الانعكاس على وجهي العدسة، وتتداخل الأمواج المنعكسة مع الموجة الضوئية الأصلية، مما يؤدي إلى ضبابية الصورة وفساد مقدرة المجهر على التمييز. إنه لمن الضروري استخدام فتحات أكبر بكثير من أطوال الموجات التي ستعبرها، وهذا هو السبب في وجوب توسيع فتحات التلسكوبات الراديوية إلى قيمة أكبر بكثير من فتحات التلسكوبات الضوئية، لأن الأمواج الراديوية طويلة جداً بالمقارنة مع نظيراتها الضوئية. من هذا ينتج أن رؤية الالكترون تستدعي إما استخدام جسمية ذات فتحة كبيرة أو ضوء ذي طول موجة صغير جداً، وإلا كانت صورة الالكترون ضبابية وعاجزة عن أن تتيح قياساً دقيقاً لموضعه. إن الحالة هنا تشبه إلى حد بعيد ظاهرة اصطدام موجه بحرية مع سارية منتصبة في عرض البحر. فلدى التقاء موجة كبيرة مع السارية، تنفصل هذه الموجة مؤقتاً إلى موجتين تعودان إلى الالتحام ثانية بعد تجاوز



شكل ٧: مبدأ الارتياب:

آ ــ يتطلب تحديد موضع الالكترون بدقة استخدام مجهر ذي عدسة جسمية عريضة وضوء ذي موجة قصيرة جداً. الثمن الواجب دفعه عندئذ هو فقد المعلومات عن ارتداد الالكترون، ذلك أنه يمكن عندئذ للفوتون المنعكس أن يدخل العدسة من أي نقطة ضمن المخروط المحدد بالخط المتقطع.

ب ــ من أجل حساب الارتداد بدقة، يلزم استخدام عدسة ضيقة (لتصغير زاوية المخروط) مع ضوء ذي موجة طويلة، إلا أن هذا يؤدي إلى صورة ضبابية، وبالتالي إلى فقد المعلومات عن موضع الالكترون.

إن تحصيل المعلومات الدقيقة عن كل من الموضع والحركة في آن واحد معاً هو أمر مستحيل حتى من حيث المبدأ.

السارية بقليل لتشكلا موجة واحدة كما كانت في الأصل، مما يعني أن الموجة بعد الاصطدام لا تحمل أي معلومات عن وجود السارية. لكن عندما تكون الموجة المصطدمة بالسارية صغيرة، فإن

الاصطدام يؤدي إلى تفكك الموجة إلى أشكال معقدة لا تعود إلى الالتحام معاً بعد تجاوز السارية ، ومن خلال هذه الاضطرابات الموجية يمكن للمراقب أن يستنتج وجود السارية . والشيء نفسه يحدث مع أمواج الضوء؛ فلكي نرى جسماً ، يجب أن يكون طول موجة الضوء قريباً أو أصغر من أبعاد الجسم موضوع الاهتمام . فمن أجل جسيم كالالكترون ، يجب أن يكون طول الموجة أقصر ما يمكن ، كأشعة غاما مثلاً ؛ وهنا يظهر الدور الحاسم والفعّال الذي تلعبه الطبيعة الكمومية للضوء . فكما بيّنا في الفصل الأول ، يأتي الضوء على شكل كموم طاقية منفصلة تدعى الفوتونات ، وهذه الخاصة تضفي على الضوء بعض خصائص الجسيمات ، بمعنى أن الفوتونات تحمل طاقة واندفاعاً محددين ؛ ولدى اصطدامها بجسيمات أخرى ، فإنها تسبب لها ارتداداً ، وهذا ما عبرنا عنه بضغط الضوء فيما سبق . يتناسب اندفاع الفوتون وطاقته عكسياً مع طول موجته ، مما يعني أن الأمواج الراديوية مثلاً ، هي أمواج ضعيفة في حين أن الأمواج اللامتناهية في القِصَر ، كأشعة غاما ، تتمتع بطاقة واندفاع أكبر بكثير . من هذا يمكن أن تتضح لنا المعضلة الكبيرة في محاولتنا لرؤية الالكترون : فضرورة استخدام ضوء ذي موجات قصيرة جداً من أجل الحصول على صورة واضحة للالكترون يعني اصطدامه مع فوتونات ذات طاقة واندفاع كبيرين مما يؤدي إلى ارتداده بعنف وحصول اضطراب هائل في حالته . الآن ، وإذا أردنا معرفة مقدار الارتداد وزاوية اتجاه الالكترون بعد الاضطراب ، علينا معرفة زاوية انعكاس الفوتون ، وهذا يتطلب استخدام عدسة جسمية ذات فتحة صغيرة . لكن استخدام هذه العدسة يؤدي إلى تفشي الصورة وعدم وضوحها وبالتالي إلى عدم إمكانية تحديد موقع الالكترون كما هو مطلوب (انظر الشكل ٧) . طبعاً ، يمكننا استخدام عدسة ذات فتحة كبيرة وبالتالي تحديد موقع الالكترون بدقة ، لكن لن يكون بإمكاننا حينئذ التعرف على مقدار الاضطراب الناجم عن اصطدام الضوء بالالكترون من أجل أخذه بالحسبان لإدخال التصحيح في نتيجة القياس .

من هذه المناقشة يتضح أنه لا يمكن التوفيق بين متطلبات التحديد الدقيق لكل من موضع الالكترون وحركته في عملية رصد واحدة ، لأن هناك حدوداً طبيعية لمقدار المعلومات التي يمكن أن نحصل عليها عن حالة الالكترون . إذ يمكن قياس موضعه بدقة ، لكن على حساب إدخال اضطراب عشوائي غير قابل للتحديد في حركته ؛ وبالمقابل ، يمكن وضع حركة الالكترون تحت السيطرة التامة ، لكن على حساب فقدان تام للمعلومات عن موضعه . إن هذا اللاتحديد المتبادل في حالة الالكترون ليس مجرد قصور عملي ناجم عن خصائص المجهر ، بل هو سمة أساسية متأصلة في

العالم الصُغْري، وليس هناك من طريقة، حتى من حيث المبدأ، يمكن بها الحصول على معلومات دقيقة عن كل من موضع الجسيمات دون الذرية وحركتها في آن واحد. تمثل هذه الأفكار روح مبدأ هايزنبرغ (Heisenberg) في الارتياب الموصف بعلاقة رياضية تمكن من تقدير الخطأ الأصغري في عملية القياس والذي لا يمكن إنقاصه.

إن مضامين الارتياب لا تقف عند هذا الحد في مخالفتها للنيوتنية، وإنما تمثل كفراً بها وبكل قدسياتها، كما سنرى فيما بعد. فقد رأينا في الفصل الأول أن المعرفة التامة لموضع جسيم وحركته تكفي لتحديد كامل تصرفاته، إذا كانت جميع القوى المطبقة عليه، أو مواقع الجسيمات الأخرى كافة وحركاتها، معروفة لنا. لكن هذه المعرفة على ما يبدو ليست ممكنة، ليس على الصعيد العملي فقط، وإنما من حيث المبدأ أيضاً. دعنا نرجع إلى مسألة قذف الكرة وطريقة تمثيل الظروف البدئية على المخطط المبين في الشكل ١. كانت كل نقطة في المخطط تمثل قيمة محددة لسرعة الكرة وزاوية قذفها، وكانت قوانين نيوتن تعطي تنبؤاً بالمسار الذي سوف تسلكه الكرة انطلاقاً من تلك الظروف البدئية. ويتغير موضع النقطة على المخطط يتغير المسار المقترن بها، والمسارات المقترنة بنقاط متجاورة تكون متجاورة بدورها أيضاً. إذا لم يكن موضع النقطة على المخطط معروفاً لنا، فإنه من غير الممكن طبعاً تحديد المسار الذي تسلكه الكرة. لكن من الممكن أن تكون معرفتنا محصورة في أن النقطة تقع ضمن حيز معين من المخطط؛ عندئذ، ينقلب التنبؤ الدقيق بالمسار الوحيد إلى تنبؤ إحصائي يصف الاحتمالات النسبية للمسارات المتجاورة الممكنة. حسب مبدأ هايزنبرغ، هناك دائماً ارتياب في موضع الجسيم وحركته في اللحظة البدئية، ولئن كنا لا نلاحظه في حالة الكرة، فإن ذلك يعود إلى أنه ضئيل للغاية هناك. على أي حال، يمكن أن نختار تحديد الموضع بدقة لامتناهية، إلا أن زاوية القذف ستكون غير محددة عندئذ؛ وعلى العكس من ذلك، يمكننا تحديد الزاوية بدقة، وعندها يصبح موضع القذف غير دقيق. يمكن أيضاً أن نختار حلاً وسطاً، مُضحِّين ببعض الدقة في كل من المقدارين، إلا أننا لن نستطيع مهما فعلنا، أن نُنْقص مساحة الارتياب على المخطط إلى الصفر. من هذا ينتج أن هناك دوماً شيئاً من اللاحتمية بخصوص المسار الذي سوف تسلكه الكرة، والتنبؤ الإحصائي بالمسار يكون هو الممكن فقط عندئذ. إننا في حياتنا اليومية لا نشعر بهذه اللاحتمية في مسار الكرة بسبب ضآلتها بالمقارنة مع مصادر الخطأ الأخرى في عملية القياس، إلا أن حركة الكرة الذرية تقوم أساساً على اللاحتمية الكمومية في أحشاء الذرة.

إن رد الفعل الغريزي على هذه الادعاءات هو الافتراض بأن الارتياب ناجم في الحقيقة عن قلة

مهاراتنا في عمليات التحريات الذرية، والناجمة بدورها عن حجمنا الكبير نسبياً؛ قد يُظن أن الالكترون يمتلك فعلاً موضعاً وحركة محددين تماماً، لكن غلاظة راحاتنا هي التي تمنعنا من وضع أيدينا عليهما. الواقع أن هذا ليس صحيحاً، وذلك لأسباب سوف نوضحها في الفصل السادس. إن الارتياب على ما يبدو سمة أساسية متأصلة في أعماق العالم الصغري، وليس نتيجة لقصورنا في ملاحظة الجسيمات الذرية وما دونها صغراً. إن الأمر ليس مجرد أننا لا نستطيع أن نعرف ما ينوي الالكترون فعله، بل وببساطة، أن الالكترون لا يمتلك موضعاً وحركة محددين تماماً في آن واحد. إنه كيان لاحتمي بالفطرة.

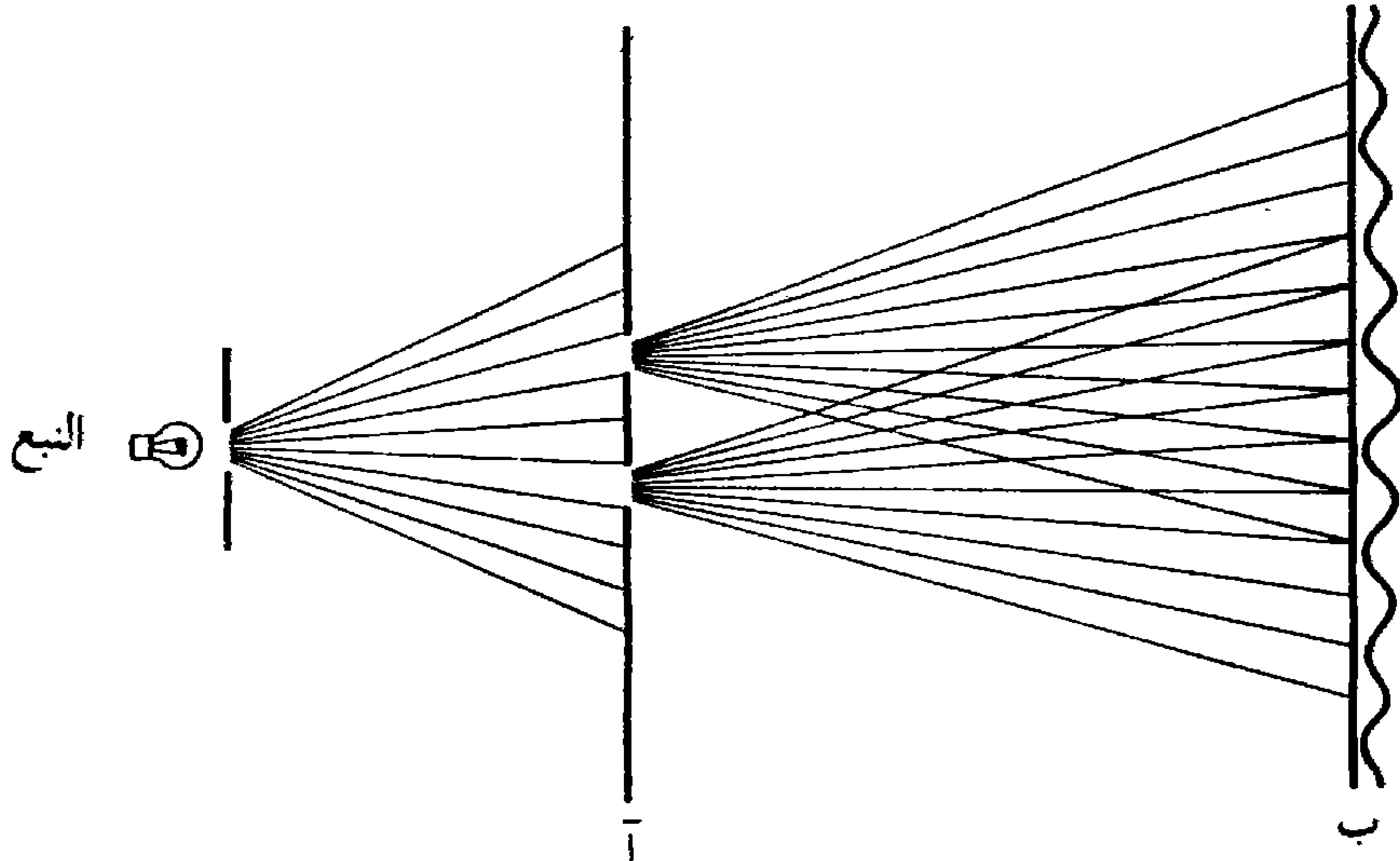
قد يتساءل المرء عما إذا كان ممكناً أن يقال شيء ما في وصف التصرفات النزوية لتلك الجسيمات المتكتمة. الواقع أننا لا نستطيع أن نعرف تصرفها بدقة، إلا أن بالإمكان معرفة جملة من تصرفاتها المختلفة. فحركة الالكترون عبر الفراغ ليست حدثاً محدداً تماماً، وإنما هي أمر أشبه ما يكون بالتوزع الاحتمالي، حيث تمثل المسارات الممكنة والمحتملة حزمة منسابة متدفقة كتدفق السائل. لقد وصف لوي دوبروي (Louis de Broglie)، في عام ١٩٢٤ تصرف الالكترونات بأنه فعل يشابه تدفق السائل، وبالتحديد، فقد اقترح أن المسارات الممكنة تنتشر على شكل الموجة. فعلى غرار ما يحدث بعد رمي حصاة في بركة ماء من تموجات تنتشر من مركز سقوط الحصاة، فإن الالكترونات أيضاً لدى تحريرها تنتشر في كل الاتجاهات كالمويجات في حوض الماء.

إن مضمون فكرة دوبروي أعمق في الواقع من مجرد التشابه الآنف الذكر، إذ أن لحركة الأمواج سماتها الخاصة جداً على كل من الصعيدين الفيزيائي والرياضي. فإحدى الخصائص الهامة في حركة الأمواج هي قابليتها للتداخل فيما بينها، تلك الظاهرة المألوفة لدينا جميعاً في حياتنا العادية، والتي تلعب دوراً أساسياً في الوصف الكمومي للمادة وفي النتائج المريعة التي سوف نتعرض لها فيما بعد. إن حوض الماء يمثل مكاناً جيداً لملاحظة ظاهرة تداخل الأمواج على سطح الماء؛ فلو تم رمي حصاتين في الحوض في آن واحد وفي نقطتين متجاورتين، فإن كل حصاة سوف تتسبب في ظهور مجموعة خاصة بها من المويجات التي يتجلى تداخلها معاً على شكل قمم و وديان متناظرة في مواقع تقاطعها. يعود سبب هذه الظاهرة إلى أنه عندما تتلاقى المويجات وهي في قممها فإنها تتضافر معاً، في حين أن التقاء قمة من الموجة الأولى مع قاع من الموجة الثانية يجعلهما تتفانيان معاً ويظل سطح الماء عند نقطة التقائهما ساكناً.

لقد أدرك العلماء منذ العشرينيات من هذا القرن أنه إذا كانت افتراض دوبروي صحيحاً، فإن التداخل يجب أن يظهر إذا تراكبت معاً حزم مختلفة من الالكترونات، لأن الحركة الموجية لكل حزمة سوف تتداخل مع موجات الحزم الأخرى. حينئذ فقط ظهر المغزى الجديد لنتيجة تجربة ديفيسون التي أتينا على ذكرها في مطلع الفصل الأول. فقد وجد ديفيسون أن الالكترونات، عندما تتطاير من سطح بلورات النيكل، تتجمع على شكل حزم متتابعة تتداخل مع بعضها. فيما بعد، وفي عام ١٩٢٧، برهن ديفيسون بما لا يقبل الشك على أن الحزم المتراكبة تتضافر أو تتفانى معاً على النمط التقليدي لتداخل الأمواج، وكانت النتيجة مذهلة: إن الالكترونات تتصرف كأمواج بقدر ما تتصرف كالجسيمات.

ماذا يعني هذا؟ لقد رأينا سابقاً أن أمواج الضوء تمتلك بعض خصائص الجسيمات (لكن ليس كل خصائص الجسيمات) وأطلقنا عليها اسم الفوتونات؛ والآن، يبدو أننا أمام مثنوية مشابهة في كيان الالكترون. إن هذا لا يعني أن الطبيعة تتضمن أن الالكترون ذاته كائن موجي، بل يعني فقط أنه يتحرك كالموجة. وبالإضافة إلى ذلك، فإن الموجة التي نحن بصددها ليست، بحال من الأحوال، موجة مادية، بل هي موجة احتمال: إن احتمال وجود الالكترون في موضع ما يزداد بازدياد الاضطراب في ذلك الموضع. هذا يذكرنا بالتعبير الشائع بخصوص موجة الجريمة المنتشرة في منطقة ما، والذي يعبر عن ازدياد احتمال وقوع الجريمة فيها. إن موجة الجريمة ليست موجة مادية، بل هي موجة احتمال.

على الرغم من أن هذه الأفكار المثيرة والمحيرة تحمل في طياتها الكثير من التحدي، إلا أن فهمها ليس مستعصياً، إذ يمكن تحصيله من خلال الدراسة الدقيقة للطبيعة الموجية والجسيمية لكل من الالكترونات والفوتونات. يُري الشكل ٨ رسماً توضيحياً لإحدى التجارب الشهيرة للكشف عن الطبيعة الموجية للضوء. في هذه التجربة، يوجد لوح عاتم غير شفاف آ، فيه شقان متوازيان ومتجاوران، يسمحان للضوء الصادر عن منبع ضوئي نقطي بالمرور عبرهما ليسقط على لوح غير شفاف ب. الآن، إذا تم سد أحد الشقين مؤقتاً، فإن صورة الشق الآخر سوف تظهر على اللوح ب على شكل مستطيل ضوئي ضيق مواز لذلك الشق؛ وإذا كان الشق ضيقاً جداً، فإن الضوء المار خلاله يعاني تشوهاً يؤدي إلى تفشي صورته. لو أغلقنا الآن هذا الشق وفتحنا الآخر وحده، يظهر على اللوح ب صورة مشابهة لكن مزاحة قليلاً بالنسبة لما حصلنا عليه مع الشق الأول.



شكل ٨: أمواج أم جسيمات؟

يمثل المخطط تجربة الشقين، وفيها تعبر الفوتونات أو الالكترونات الشقين في اللوحة آ لتصطدم بعدئذ باللوحة ب، حيث تجري عملية مراقبة معدل وصولها. تشير قمم و وديان الموجة إلى ظاهرة التداخل الموجي.

هذا إذا كان أحد الشقين مفتوحاً والآخر مسدوداً، لكن المفاجأة تحدث عندما يكون الشقان مفتوحين معاً؛ فقد يتوقع المرء أن الصورة الناتجة عندئذ لن تكون سوى اجتماع لصورتي الشقين في صورة واحدة تحتوي على شريحتين ضوئيتين متوازيتين ومتراكبتين بعض الشيء، بسبب ما ينجم عن التفشي من اتساع رقعة كل منهما. إلا أن الواقع هو غير ذلك، فما يظهر على اللوح ب ما هو إلا سلسلة من الأهداب الضوئية المنتظمة تفصل بينها أهداب مشابهة لكن عاتمة. لقد كان أول من لاحظ هذه الظاهرة هو الفيزيائي توماس يَنـغ (Thomas Young) في عام ١٨٠٣، والصورة الناتجة ليست في الواقع سوى تعبير عن التداخل الموجي الذي أتينا على ذكره أعلاه: ففي كل نقطة من اللوح ب، حيث تكون كل من موجتي الضوء الواردتين من الشقين في قمتها، تتضافر الموجتان معاً مؤديتين بذلك إلى إضاءة النقطة بشدة؛ لكن عندما تكون إحدى الموجتين في قمتها والأخرى في قعرها، فإنهما تتفانيان معاً وتعطيان نقطة مظلمة.

يمكن إعادة التجربة نفسها لكن باستخدام الالكترونات بدلاً من الضوء وباستخدام شاشة

تلفزيونية في مكان اللوح ب. يجب أن نتذكر هنا أن الالكترون بمفرده هو جسيم حتماً، وأنه يمكن عد الالكترونات فرداً فرداً. إضافة إلى ذلك، وحسب المعلومات المتوفرة، ليس للالكترون مكونات داخلية (الالكترون جسيم بسيط غير قابل للتجزئة)، كما ليس لحجمه حدود واضحة. تتم التجربة الآن برشق الشقين في اللوح آ بحزمة دقيقة من الالكترونات تصدر عن مدفع الكتروني كذلك المستخدم في أنبوب شاشة التلفزيون، حيث تندفع الالكترونات التي تتمكن من عبور الشقين باتجاه الشاشة لتصطدم بها ولتحول طاقتها إلى وميض ضوئي عليها (وهذا هو مبدأ تشكيل الصورة التلفزيونية). وبمراقبة الومضات الناجمة عن الالكترونات المختلفة، يمكن إيجاد سجل للمواضع التي اصطدمت بها على الشاشة كما يمكن تحديد توزع تلك المواضع.

دعنا نعاين الآن ما يحصل لو كان أحد الشقين مفتوحاً والآخر مغلقاً. هنا تنطلق الالكترونات التي تتمكن من عبور الشق المفتوح باتجاه الشاشة لتسقط عليها، ومعظم هذه الالكترونات يتركز في بقعة من الشاشة مواجهة للثقب المفتوح، وقليل منها يتناثر على أطراف هذه البقعة يميناً ويساراً. إن توزع الالكترونات هنا يماثل توزع الضوء على اللوح ب في التجربة السابقة عندما يكون هناك ثقب مفتوح واحد فقط. ولدى إغلاق الشق المفتوح وفتح الشق الآخر، ينتج توزع مماثل للالكترونات، لكن مع انزياح قليل بما يتوافق مع الشق المفتوح الآن. طبعاً، ليس في هذا من غرابة، والأمر طبيعي وعادي جداً. لكن عندما يكون كلا الشقين مفتوحين، ينتج ما هو مفاجئ وغير متوقع: عندئذ، تتوزع مواقع الالكترونات في عُصَب متوالية بانتظام على صورة أهداب تداخل تشبه ما حصلنا عليه في التجربة الضوئية، وهذا ما يشير إلى الطبيعة الموجية للالكترونات.

الأحجية الأكبر في النتيجة تظهر لدى إنقاص عدد الالكترونات الواردة إلى الشقين بحيث لا تعبرهما إلا فرادى، بمعنى أنه لا يسمح إلا لالكترون واحد بالورود إلى اللوح آ في الوقت الواحد. يمكن طبعاً للالكترون أن يمر عبر أي من الشقين، لكن بما أنه غير قابل للتجزئة، فإنه لا يمكن له أن يعبر كلا الشقين في آن واحد. لنفترض الآن أننا خفضنا كثافة الالكترونات المتجهة من المدفع الالكتروني إلى الشقين بما يحقق العبور الإفرادي المذكور، ولنقُم بتسجيل مواقع الالكترونات على الشاشة بوساطة لوح حساس (فيلم فوتغرافي). بعد بعض الوقت، ومن أجل عدد كبير من الالكترونات الإفرادية العابرة للشقين، يكون قد تجمع لدينا عدد من الألواح الحساسة في كل منها نقطة واحدة تشير إلى الموضع الذي سقط فيه الالكترون (لكل الكترون هناك لوح خاص به).

ماذا يمكن أن نقول الآن عن توزع مساقط الالكترونات ككل على الشاشة؟ يمكن تحديد ذلك بوضع الألواح المختلفة فوق بعضها والنظر عبرها، حيث تشكل النقاط المختلفة على الألواح التوزع المنشود (يُمثِّل موضع الالكترون على اللوح بنقطة وحيدة مظلمة في حين يكون باقي سطح اللوح شفافاً). إن الأمر المدهش هنا هو أن التوزع الناتج هو نفس التوزع الناجم عندما يتم عبور عدد هائل من الالكترونات للشقين في تجربة واحدة، وهو ذات التوزع الناتج في تجربة الضوء الأولى. من ذلك يتضح أن مجموعة الأحداث الإفرادية المتمثلة هنا بعبور الكترون واحد لأحد الشقين في الوقت الواحد، يتسم أيضاً بظاهرة التداخل الموجي. وفوق هذا، وإذا تم إجراء التجربة في مخابر متعددة، ومن ثم تم انتقاء لوح بشكل عشوائي من كل مخبر، فإن مجموعة الألواح المنتقاة (والواردة الآن من مصادر مختلفة) تُري التداخل الموجي نفسه لدى وضعها بعضاً فوق بعض.

إنها نتائج مدهشة حقاً لدرجة تجعل من الصعب هضم مغزاها، فالأمر يبدو وكأن هناك تأثيراً سحرياً يفرض الأحداث في المخابر المختلفة والأوقات المختلفة لتجري وفق مبدأ كوني شامل. كيف يستطيع الكترون ما أن يعلم ماذا ينوي الكترون آخر، ربما في مكان بعيد من العالم، أن يفعل؟ ما هو التأثير الغريب الذي يجعل الالكترون يحجم عن السقوط في شرائح التداخل المظلمة على الشاشة الكاشفة ويدفعه للسقوط في المواقع التي تنوي الكترونات أخرى، في أمكنة أخرى من العالم، السقوط فيها؟ أهو سحر؟.

يبدو الأمر أكثر غرابة إذا تذكرنا أن صورة التداخل تنشأ بالدرجة الأولى عن تراكب الموجات العابرة للشق الأول مع تلك العابرة للشق الثاني، أي أن التداخل هو حتماً خاصة الشقين معاً، ولدى إغلاق أحد الشقين يزول هذا التداخل. نحن نعلم طبعاً أن الالكترون الواحد، وباعتباره جسيماً غير قابل للتجزئة، لا يمر إلا من ثقب واحد: فكيف يستطيع معرفة حالة الشق الآخر؟ يبدو أن الشق الذي لا يعبره الالكترون، والذي يعتبر بعيداً جداً عن شق العبور بالمعايير الذرية، يملك من التأثير على تصرف الالكترون ما يملكه الشق الذي يعبره فعلاً.

عند هذه المرحلة، لا بد أن نكون قد بدأنا نستشعر شيئاً من الطبيعة الغريبة للعالم الذري. لقد ذكرنا في الفصل الأول، أن الالكترون ليس مقيداً بقانون لاتباع مسار محدد، وفيما بعد رأينا كيف أن مبدأ هايزنبرغ في الارتياب يمنع الالكترون من اتباع مسار محدد ومعرَّف تماماً، وأخيراً تأتي نتيجة تجربة الثقبين لتبرز دور خاصة عدم التعيين المتأصلة في هذه الظواهر، لأنها تحملنا على

الاستنتاج بأن المسارات المحتملة للالكترون الواحد تمر عبر كلا الثقبين، وأن تلك المسارات التي لا يسلكها الالكترون تؤثر، وبشكل غريب ما، على أشكال المسارات التي يسلكها. بتعبير آخر نقول، إن العوالم البديلة المتاحة التي كان يمكن أن تبرز إلى حيز الوجود، لكن لم تظهر، تؤثر على العالم الذي ظهر فعلاً.

يمكننا الآن أن نفهم لماذا لا نستطيع اعتبار الموجات المقترنة بالالكترونات موجات الكترونية، بل موجات احتمال. إن التداخل الذي يحصل في جملة الشقين، التي استعرضناها أعلاه، لا يمكن أن يكون بين الالكترونات ذاتها، وإلا فإن مظاهر التداخل يجب أن لا تظهر في حالة استخدام الكترون واحد في الوقت الواحد. إنه تداخل احتمالات: فاحتمال موضع سقوط الالكترون الفرد يستطيع أن يتحسس كلا الشقين وأن يتداخل مع نفسه. إنها النزعة الفطرية لدى الالكترون هي التي تدفعه إلى المواضع التي يحددها التداخل، وبالتالي فإن هناك احتمالاً أكبر لتوجه الالكترون إلى مواقع الشرائح الأكثر وميضاً والابتعاد عن الشرائح المظلمة. وبسبب الارتياب المتأصل في موضع الالكترون وحركته، والذي يؤدي إلى الطبيعة الموجية، فإنه ليس من الممكن التنبؤ بالمسار الذي سوف يسلكه الالكترون فعلاً، إلا أنه يمكن إجراء تنبؤ بتصرف مجموعة كبيرة من الالكترونات على أساس إحصائي بسيط. إن هذا التوزع الإحصائي فقط هو الذي يخضع لأثر التداخل الموجي الذي يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار في الحسابات كافة.

يري هذا بوضوح كيف أن الالكترونات تتفادى السقوط على النوى داخل الذرات. إن أمواج احتمالاتها تأخذ أنماطاً منتظمة ثابتة حول النواة: أنماطٌ محددةٌ مستقرةٌ فقط هي التي يمكنها أن تحصل؛ ولو لم يكن الأمر كذلك، وإذا لم تتصادف قمم الموجات و وديانها بالشكل الصحيح، فإن تداخلها يؤدي إلى إفنائها؛ ولو حصل هذا، فسيكون احتمال وجود الالكترون في مدار حول النواة يساوي الصفر، أي ذرة بلا الكترونات. إن ظاهرة وجود أنماط موجية مستقرة لاحتمال وجود الكترون في موضع ما، تشابه ظاهرة الأمواج المستقرة (الواقفة) التي نصادفها في الأنابيب الصوتية الموسيقية، حيث لا يمكن أن يكون هناك إلا تواترات محددة تماماً للاهتزاز الصوتي، وبما يتوافق مع الشكل الهندسي الفراغي للأنبوب (تواترات الطنين). وبشكل مماثل، تواتراتٌ أو سوياتٌ طاقة محددة فقط يمكن أن تظهر حول نواة الذرة، وما الألوان التي تصدرها الذرات لدى انتقال الكترون من سوية طاقة إلى أخرى سوى الدليل المرئي على هذه الموسيقى الذرية. وتماماً كما أن هناك تواتراً موسيقاً (نوتة) أدنى في السلم الموسيقي، فإن هناك سوية طاقة أدنى في الذرة.

لقد مثل هذا التفسير نصراً كبير في فهمنا للعالم الذري، وذلك لأن استقرار الذرة وتجنبها الانهيار بسقوط الكتروناتها على نواها كان الأحجية الأساسية التي حفزت رفض الفيزياء النيوتنية في نمذجة الذرة. إن حقيقة أن الأجهزة الموسيقية تصدر تواترات محددة فقط من السلم الموسيقي لاتبدو، للوهلة الأولى، مرتبطة بحقيقة أن الذرة أيضاً تشع ضوءاً ذا ألوان محددة من الطيف الضوئي؛ لكن الطبيعة الموجية للعالم الذري تكشف هذه الوحدة الرائعة للعالم الفيزيائي، وتري أن هذه الظواهر هي في الأصل شيء واحد. لذلك، يمكننا اعتبار طيف الضوء الصادر عن ذرة ما مشابهاً لسلم التواترات التي تصدرها آلة موسيقية محددة: فلكل آلة صوت مميز لها؛ وكما أن جَرْسَ الكمان يختلف تماماً عن جَرْس الطبل أو الكلارينيت، فإن مزيج الألوان في الضوء الصادر عن ذرة الهيدروجين يتميز عن طيف الضوء الصادر عن ذرة الكربون أو اليورانيوم. ففي كلا الحالتين، هناك ارتباط وثيق بين الاهتزاز الداخلي (الأوتار المهتزة في الجهاز الصوتي وموجة الاحتمال في الذرة) وبين الأمواج الخارجية (الصوت والضوء).

قبل أن نترك تجربة الثقبين، دعنا نتسلَّ بالتفكير بالمسألة التالية: هل يعرف الالكترون حقاً ما إذا كان الشق الآخر مفتوحاً أم لا؟ للحصول على الجواب يمكن تصور التجربة الذهنية التالية: نضع بالقرب من الثقبين كاشفاً يحدد لنا الثقب الذي يتجه نحوه الالكترون، وبمجرد معرفتنا بذلك نغلق الشق الآخر بسرعة؛ ونكرر هذه اللعبة مع كل الالكترونات فرداً فرداً. فإذا كان الالكترون يشعر بهذه العملية، فإن صورة التداخل لن تحصل حين نضم نتائج هذه التجارب كلها معاً (كما فعلنا سابقاً). لكن من المستحيل، من جهة أولى، أن نصدق أن الالكترون يستطيع من هناك أن يعرف نوايانا فيعدل حركته بموجبها، ونحن نعلم من ناحية أخرى، أن صورة التداخل لا تحدث عندما يكون أحد الثقبين مغلقاً طوال التجربة. وبالتأكيد لا يمكن لانفتاح الشق عندما لا يكون هناك الكترونات أن يؤثر في مجريات الأمور؛ هل يمكن ذلك؟ في كلتا الحالتين تبدو الطبيعة وكأنها تعبث بنا.

لتنفيذ هذه التجربة يمكن أن نسلط حزمة من الضوء على مدخل الشقين ثم نرصد كل ومضة قصيرة ترافق اجتياز الالكترون للثقب. لا بد من أن نأخذ بالحسبان الارتداد الذي يحصل للالكترون لدى اصطدامه بالضوء، حسبما ذكرنا لدى الحديث عن مشكلة المجهر. ولكي نحدد بالضبط الشق الذي يعبر منه الالكترون، يجب استعمال ضوء منير ذي طول موجة أقصر من المسافة بين الشقين، وهذا أمر ضروري كي نتأكد أي الشقين هو الأقرب إلى الومضة التي رأيناها.

وبالتالي، فإن الموجة الضوئية لا بد أن تسبب في حركة الالكترون اضطراباً شديداً، الأمر الذي يجعل الارتداد، الذي يعانيه الالكترون عندما يضاء بنور ذي طول موجة قصير، كبيراً بما يكفي لتخريب صورة التداخل كلياً. وهكذا نرى أن الطبيعة بجوهرها تمنعنا من الإجابة عن السؤال الأساسي: هل يعلم الالكترون ما إذا كان الشق الآخر مغلقاً أم لا؟ إن التداخل الالكتروني ظاهرة تتطلب أن يكون الشقان كلاهما مفتوحين، على الرغم من أن الالكترون لا يمر إلا من شق واحد فقط. وكما نرى الآن، فإن التداخل يحدث فقط إذا لم نكن فضوليين في التعرف على الشق الذي يعبره الالكترون. كلا الشقين يجب أن يبقى مفتوحاً، وكل منهما يمثل معبراً متاحاً، على الرغم من أن واحداً منهما فقط يمثل المعبر الفعلي لالكترون معين؛ أيهما؟ هذا ما لا يمكن أن نعرفه.

إن نظرية الكم تتضمن أكثر بكثير من مجرد المقولات الجدلية حول دقة القياسات والأفكار العامة عن الحركة الموجية. إنها نظرية رياضية دقيقة قادرة على التنبؤ المفصل بتصرفات جميع الجمل الذرية. والخصائص الفيزيائية الأساسية، كمبدأ هايزنبرغ، تكمن في صلبها وعلى مستوى جوهري، وتتجلى بشكل طبيعي في صيغها الرياضية. في عام ١٩٢٤، اكتشف الفيزيائي النمساوي إروين شرودنغر العلاقة الرياضية الفعلية التي تحكم أمواج الاحتمال، ذلك اللغز الكبير؛ واليوم يقوم الفيزيائيون المختصون بإجراء الحسابات العملية التي تكشف عن البنية الداخلية للذرات والجزيئات وحركتها، وذلك عن طريق حل هذه المعادلة. فمثلاً يمكن حساب سويات الطاقة في الذرة وبالتالي تواترات الضوء الذي تشعه أو تمتصه، كما يمكن حساب الشدة النسبية للألوان المختلفة في طيف الضوء الصادر. إن هذه الحسابات تمكن من التعرف على الكثير من الأطياف الغامضة، كتلك الواردة من الأجرام الفلكية البعيدة، وذلك بمقارنتها مع أطياف العناصر الكيماوية المعروفة؛ فالكوازارات، وهي أجرام فلكية موجودة في عمق الفضاء الكوني، تبدو لنا بألوان منزاحة نحو الأحمر بسبب توسع الكون، بينما قد يكون ضوؤها الأصلي الصادر عنها غير مرئي لنا لوقوعه في المجال فوق البنفسجي؛ إن الحسابات وحدها هي التي تمكن من التنبؤ ببنية الطيف الفعلية عند التواترات المختلفة.

يمكن للحسابات أيضاً، وباستخدام نظرية الكم، أن تكشف عن طبيعة القوى الفاعلة ما بين الذرات والتي تساعد على ترابطها معاً لتكوين الجزيئات. فعندما تقترب ذرة من أخرى، تتراكب أمواجهما وتتداخل على نحو يؤدي إلى تلاصقهما برابطة كيميائية، وعندما يجتمع عدد كبير من الذرات في منظومة متناسقة، كما في البلورات، تنتظم أمواج احتمال الالكترونات كافة في

حركة مترابطة تمكنها من اختراق ثخن المادة الهائل نسبياً دون أن تعاني سوى مقاومة ضئيلة. إن دراسة هذه الأمواج أدت إلى الكثير من المعلومات عن الكيفية التي تنقل بها المعادن الحرارة والكهرباء. لقد كونت الحسابات باستخدام نظرية الكم صورة واضحة لبنية البلورات والمواد الصلبة الأخرى كأنصاف النواقل (المستخدمة في صناعة الترانزستور والعناصر الالكترونية الدقيقة)، كما شكلت القاعدة لفهم السوائل والغازات والبلازما. وفي المجال النووي، قدم تطبيق نظرية الكم المعلومات الكثيرة والمفصلة عن البنية النووية الداخلية وعن التفاعلات النووية كالانشطار والاندماج وتفاعل النوى الذرية مع جسيمات أخرى أدق منها.

ليست الرياضيات المستخدمة في هذه الحسابات من النمط المألوف في العمليات الجبرية العادية، وذلك لاعتمادها على الكثير من التجريد ولاحتوائها على قواعد خاصة جداً ذات خصائص تختلف كلياً عن تلك المعروفة في الأرقام العادية. إن فهم تفاصيل هذا النوع من الرياضيات يتطلب السنين الطويلة في تعلمها، إلا أنه يمكن التعرف على ملامحها من خلال بعض الأفكار الأولية التي تقوم عليها. فالرياضيات، في جوهرها، هي النموذج الفكري الذي عليه أن يحاكي تصرف العالم الحقيقي، إذا أردنا له أن يكون قادراً على تفسيره. في مرحلة ما قبل الكم، كان يتم تمثيل الجمل الفيزيائية بوساطة مجموعة من الأرقام التي تدل مثلاً على موضع جسم وسرعته ومعدل فتله أو دورانه في كل لحظة، وترابط هذه الأرقام معاً وتغيرها بمرور الزمن كان يُمثَّل بما يعرف بالمعادلات التفاضلية.

خلافاً لذلك، تمنع نظرية الكم إعطاء قيم عددية محددة لجميع المقادير الفيزيائية المقترنة بجملة ما في آن واحد: إنه لا يمكننا تحديد كل من موضع الجسيم وحركته معاً وفي تجربه واحدة (مبدأ هايزنبرغ). والأكثر من ذلك هو أنه لا يوجد للجسيم في نظرية الكم مسار وحيد مؤكد ومعروف تماماً، وإنما هناك الكثير من المسارات المحتملة. إن حالة الجملة يجب أن تعكس هذه الارتيابات وتلك الغموضات، بينما عملية القياس، التي تشوش الجملة الكمومية على نحو جوهري، لا يمكن أن يناط بها تحديد القيم العددية لشتى هذه المقادير.

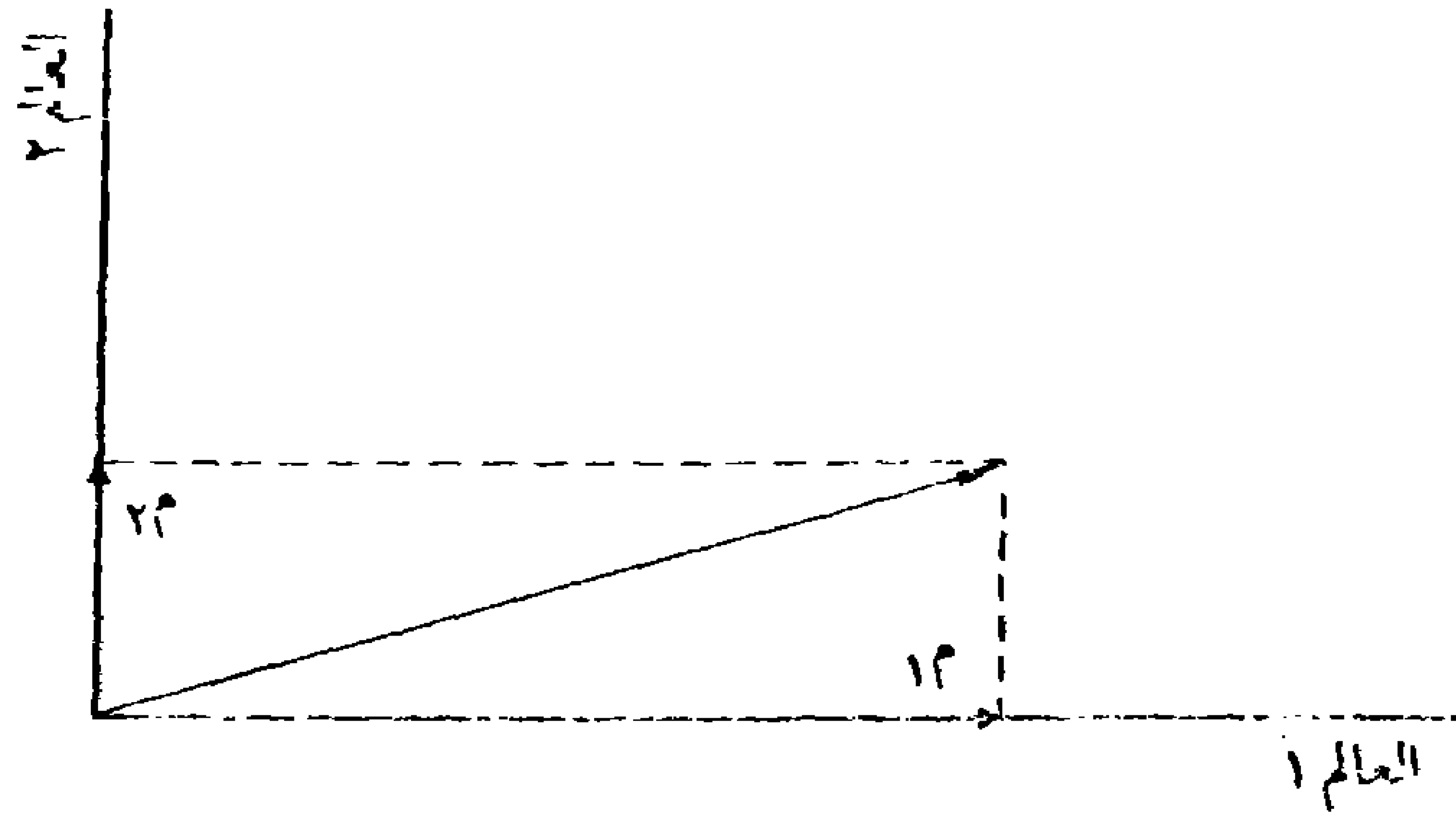
إحدى الوسائل الرياضية المستخدمة للتعبير عن واقع أن الجسيم يمكن أن يوجد في حالة كمومية تبيح عدة خيارات ممكنة ــ عدة عوالم مختلفة ــ هي ما يعرف بالأشعة. تمثل الأشعة المقادير الموجهة التي نألف بعضاً منها في حياتنا العادية: فالقوة والسرعة والتسارع كلها نماذج للمقادير التي تمتلك في آن واحد مطالاً (كبيراً أو صغيراً) واتجاهاً (شمالاً، عمودياً ...). وإلى

جانب هذه المقادير الموجهة، هناك مقادير أخرى لا تملك اتجاهاً ويعبر عنها بمطالها فقط، كالكتلة ودرجة الحرارة والطاقة وما شابهها.

من الخصائص الهامة للأشعة ما يتعلق بطريقة جمعها معاً. فخلافاً للأرقام، لا يمكننا جمع شعاعين بالجمع المباشر لمطاليهما، بل علينا أن نأخذ بعين الاعتبار اتجاهيهما. فمثلاً، إذا كان الشعاعان متعاكسين تماماً، فإن نتيجة جمعهما قد تكون صفراً، على الرغم من إمكانية كون كل من مطاليهما ذا قيمة كبيرة جداً. إن هذه الاعتبارات تجعل من عملية جمع الأشعة مسألة معقدة بالمقارنة مع الجبر العادي، إلا أنها تغنيها وتجعلها أكثر قدرة على معالجة المشاكل المختلفة.

إحدى الخصائص الأخرى للأشعة هي إمكانية تجزئة الشعاع الواحد إلى عدد من الأشعة ذات المطالات والاتجاهات المختلفة، وبعدد كبير من التشكيلات الممكنة. فمثلاً، يكون دفعك للسيارة ذا تأثير أعظمي إذا كنت تدفعها من الخلف تماماً، إلا أنك تستطيع تحريك السيارة أيضاً لو طبقت عليها دفعاً جانبياً مائلاً (انظر الشكل ١٦). وفي الواقع، ومهما كانت زاوية الدفع، فإن جزءاً من القوة سيكون باتجاه حركة السيارة طالما أن تلك الزاوية ليست عمودية تماماً على ذلك الاتجاه. يُعبِّر الرياضيون عن هذا بأن هناك مُركبَّتين لقوة الدفع، واحدة موازية لمحور تناظر السيارة الطولي وأخرى عمودية عليه، وتبعاً لزاوية الدفع يزداد مطال المركبة الموازية أو ينقص. من هذا المنطلق، يمكن تحليل الشعاع (قوة الدفع) إلى شعاعين: واحد مواز لمحور السيارة والآخر عمودي عليه، ومطال كل منهما يعتمد على زاوية الدفع: فمن أجل زاوية دفع موازية تقريباً لمحور السيارة، يأخذ الشعاع الموازي لذلك المحور قيمة أكبر بكثير من تلك التي يأخذها الشعاع العمودي، وبالتالي يعطي الدفع مردوده الأعظمي.

تستخدم فكرة تحليل الشعاع الواحد إلى عدد من الأشعة المتعامدة في نظرية الكم بطريقة تسترعي الفضول. فكل عالم ممكن، أي كل خيار سلوكي أو مسار للجسيم، يعامل على أنه شعاع، لكنْ ليس كشعاع في الفضاء العادي وإنما كمقدار موجه في فضاء تجريدي. وكل شعاع في هذا الفضاء عموديّ على كل شعاع آخر، وبالتالي فإن جميع العوالم الممثلة بتلك الأشعة متميزة ومستقلة فيما بينها، وليس لأي منها مُركَّبة على منحى أي من الأشعة الأخرى. أما عدد الأشعة في هذا الفضاء، أي عدد أبعاده، فيعتمد على خيارات المسارات المتوفرة. ففي الشكل ٣، نجد من الضروري استخدام عدد لا نهائي من الأشعة (العوالم المحتملة)، وذلك لوجود عدد لا نهائي من



شكل ٩: تراكب العوالم:

يمثل السهمان المتعامدان عالمين متاحين (أي مرور الالكترون عبر الشق الأول أو الثاني) في حين يمثل السهم المائل الحالة الكمومية ذات المسقطين على كل من الإمكانيتين. بما أن السهم م١ أطول من السهم م٢، فإن هناك احتمالاً أعلى لظهور العالم الأول إلى الوجود عند القياس (الرصد). فإذا تمت ملاحظة العالم الأول فعلاً، يتداعى السهم المائل فجأة وعلى نحو غامض لينطبق على السهم الأفقي.

المسارات المختلفة الممكنة عبر الحديقة. إن من غير الممكن تخيل فضاء ذي عدد لا نهائي من الأشعة (الأبعاد)، إلا أن نموذجه الرياضي مفهوم ومستوعب من قبل الرياضيين تماماً. وباستخدام هذا الفضاء الشعاعي، يمكن للفيزيائيين التعبير عن حالة الجملة الفيزيائية بوساطة شعاع فيه، ويمكن لمنحى هذا الشعاع أن يكون بزاوية ذات أي قيمة. وإذا كان الشعاع مطابقاً لأحد أشعة الفراغ الأساسية، أي لعالم محدد بذاته، فإن فعل الملاحظة يؤدي إلى الاستنتاج بأن الجملة المعتبرة موجودة في حالة معينة مطابقة لذلك العالم؛ وخلافاً لذلك، إذا كان الشعاع في الوسط بين اتجاهي شعاعين أساسيين، يكون عندئذ لذلك الشعاع مركبتان، واحدة موازية لكل من الشعاعين المذكورين، والمركبة ذات المطال الأكبر تمثل العالم الأكثر احتمالاً، بينما تمثل الأخرى عالماً ممكناً أيضاً، لكن باحتمال أقل. بالطبع، إذا كان هناك عدد من الحالات الممكنة التي يمكن للجملة أن تأخذها، فإن الشعاع الممثل لحالتها يتألف من عدد من المركبات، وهذا يبقى صحيحاً حتى ولو كان عدد هذه المركبات لا نهائياً. إن زاوية الشعاع تحدد المفضل منها، أي الأكثر احتمالاً (انظر الشكل ٩).

عندما نكون بصدد رصد جملة ما، كذرة مثلاً، فإننا سنرى هذه الجملة في حالة معينة، كأن تكون في أدنى سويات طاقتها مثلاً. هذا يعني أن حالة الجملة الأصلية قبل الرصد، والتي

يمكن أن تكون عبارة عن تراكب لعدد كبير من العوالم (الحالات) الممكنة، تنتقل فجأة وبفعل الرصد لتكون في عالم واحد من هذه العوالم المختلفة، وذلك بقفزة غامضة ستتعرض لها بالتفصيل في الفصل السابع. يتم التعبير عن هذا بلغة الأشعة بأن فعل الرصد يؤدي إلى دوران شعاع الجملة بشكل مفاجئ من وضع وسط بين مختلف الأشعة الرئيسية في الفضاء الشعاعي التجريدي إلى وضع جديد يوازي الشعاع الممثل للعالم الذي تمت ملاحظته فعلاً. إن هذه القفزة المفاجئة في حالة الجملة، أي دوران الشعاع، تعكس حقيقة أن فعل الملاحظة يؤدي حتماً إلى اضطراب في حالة تلك الجملة، كما أوضحنا سابقاً. لذلك، فإن قياس مقدار ما، يكافئ رياضياً دوراناً مفاجئاً للشعاع في الفضاء التجريدي.

يعتبر الدوران مثالاً آخر للمقادير التي لا تخضع إلى قواعد الجبر العادي، فهو أيضاً يمتلك مطالاً (درجتان، زاوية قائمة...) واتجاهاً (باتجاه دوران عقارب الساعة مثلاً)؛ إلا أن جمع الدورانات هو أمر أكثر تعقيداً حتى من جمع الأشعة. ففي هذه الحالة يجب أن نأخذ بعين الاعتبار، ليس فقط الزوايا بين الدورانات، بل وترتيب جمعها أيضاً، وذلك خلافاً لما هو معروف في الجمع الجبري العادي، حيث لا أهمية للترتيب الذي يتم به الجمع (١ + ٢ = ٢ + ١، مثلاً). ومثال بسيط على ذلك يتيح للقارئ التأكد منه بسهولة، هو تدوير هذا الكتاب. ضع الكتاب على الطاولة في وضع القراءة العادي، وارفعه من جهتك ليصبح على زاوية قائمة مع الطاولة، بحيث تصبح الأطراف العليا للحروف إلى أسفل والسفلى إلى أعلى. بعدئذ، دَوِّر الكتاب باتجاه دوران عقارب الساعة بمقدار تسعين درجة. أعِد التجربة الآن، لكن بترتيب معاكس: دَوِّر الكتاب أولاً باتجاه عقارب الساعة بمقدار تسعين درجة، ثم ارفعه من جهتك إلى الأعلى بزاوية قائمة. ستجد عندئذ أن الكتاب قد انتهى إلى وضع لا يطابق الوضع الذي انتهى إليه في المرة الأولى. في نهاية التجربة الثانية سيكون الكتاب واقفاً على حرفه الجانبي في حين كان في نهاية التجربة الأولى واقفاً على حرفه العلوي. يُري هذا المثال بوضوح المبدأ العام في أن الدورانات لا يمكن أن تُجمع حسب قواعد الجبر العادي، وبالتالي لا يمكن معاملتها كالأرقام التي لا يهم الترتيب في جمعها.

تدخل هذه الأفكار في صلب نظرية الكم بشكل طبيعي، لأن دوران الشعاع الممثل لحالة الجملة الفيزيائية يطابق، كما ذكرنا، عملية الملاحظة والقياس؛ وترتيب إجراء عمليتي قياس يؤثر على النتيجة النهائية. فلو قسنا مثلاً موقع جسيم ما، فإننا نقضي على جميع المعلومات عن حركته، وإذا قمنا بعدئذ بقياس هذه الحركة فإن موضعه يصبح غير محدد بتاتاً. وإذا تم إجراء التجربة بترتيب

معاكس، أي قياس الحركة أولاً والموضع ثانياً، فإننا ننتهي والجسيم في حالة حركة غير محددة، وهي نتيجة لا تطابق نتيجة التجربة الأولى. لذلك، فإن ترتيب عمليات القياس والملاحظة، والذي ينعكس في ترتيب الدوران في الفضاء الشعاعي التجريدي، يلعب دوراً حاسماً في الحاصل النهائي. إن هذه سمة جوهرية من سمات الكم، وهي تستدعي استخدام الوسائل الرياضية الملائمة والتي لا تخضع للقاعدة البسيطة ١ + ٢ = ٢ + ١.

تنجلي هذه الوسائل الرياضية الفعالة عن فيزياء جديدة. فمن الخصائص الأساسية للفراغات الشعاعية استقلال الأشعة المتعامدة فيما بينها، بمعنى أنه لو تم تدوير شعاع أفقياً فإن ذلك يؤثر على مركبته الأفقية فقط دون أن يؤدي إلى تغيير في مركبته الشاقولية. وكما في الأشعة، فقد وُجد أن بعض المقادير الفيزيائية تتعامد مع مقادير أخرى، مما يتيح إمكانية قياس أحدها دون إدخال اضطراب في الآخر. فمثلاً، يمكن قياس كل من فتل (spin) الجسيم وطاقته في عملية واحدة دون أن يؤثر أحد القياسين على قيمة الآخر لأن الفتل والطاقة مقداران متعامدان بالمفهوم الرياضي. إن التحليل الرياضي كفيل بتحري المقادير التي ترتبط بسواها برباط التعارض الدوراني، وكل مقدارين من هذا النوع (غير متعامدين) يرتبطان بعلاقة ارتيابية من نمط علاقة هايزنبرغ. ومن أمثلة هذه المقادير، الموقع والاندفاع وكذلك الطاقة والزمن، حيث لا يمكن مثلاً قياس طاقةالجسيم بدقة إلا إذا كان الزمن المتاح غير محدود. وهذه سمة سنرى أهميتها فيما بعد.

لقد خصصنا معظم هذا الفصل للحديث عن الازدواجية الجسيمية والموجية للالكترون؛ إلا أن الاعتبارات التي طُرحت تنطبق بنفس القدر على جميع الجسيمات الذرية الأخرى. لقد تم اكتشاف المئات من هذه الجسيمات منذ الحرب العالمية الثانية، وجميعها، بما فيها الذرات، تخضع لميكانيك الكم وتتمتع بخصائص التداخل الموجي. وفوق ذلك، ليس في نظرية الكم حد أعلى لحجم الجسم تنقلب عنده الخصائص الكمومية للمادة إلى الخصائص النيوتنية. فكُرة البلياردو، والناس والكواكب والنجوم، وحتى الكون بكليته، ما هي إلا مجموعات من الجمل الصُّغرية، الأمر الذي يتضمن أن الصورة النيوتنية الإيقاعية الرتيبة للكون الذي يتحرك وفق قدر محتوم، ليست سوى سراب خادع. نحن لا نستطيع في حياتنا اليومية تحسس مظاهر الكم لأنها أضعف بكثير من أن ندركها؛ إننا لا نرى الخصائص الموجية لكرة القدم لأن طول موجتها أصغر بأكثر من مليار مليار مرة من طول موجة نواة الذرة. ومع ذلك، فإن العالم الحقيقي ما هو إلا عالم كمومي يخضع لمضامين نظرية الكم كافة.

قد يقول قائل إن أمواج المادة الغامضة تلك ، ببعدها كل البعد عن إدراكنا في حياتنا اليومية ، لا تحمل أي مغزى عملي يجعلنا نأخذها على محمل الجد ونضعها موضع الاهتمام ؛ وقد يصف بعضهم هذه الأفكار بأنها مجرد تخريف وخيال علمي لا طائل منه . وفي الرد على ذلك نذكر أن هذه الأمواج تلعب اليوم دوراً أساسياً في كثير من مجالات الهندسة التطبيقية . فالمجهر الالكتروني مثلاً ، وهو أداة قادرة على تحقيق التكبير الهائل ، يعتمد في مبدأ عمله على أمواج الالكترونات كبديل عن أمواج الضوء : فبالتحكم بسرعة حزمة الالكترونات يمكن تغيير طول موجتها ، وبالتالي يمكن الحصول على موجات أقصر بكثير من موجات الضوء المرئي ، مما يُمكِّن من رؤية التفاصيل البالغة الدقة . إن مظاهر التداخل الموجي التي لاحظها ديفيسون مليئة بالمضامين الكبيرة ، سواء على الصعيد التطبيقي ، أو على صعيد فهمنا لطبيعة الكون وبنيته .

٤

عالم الكم الغريب

يجب أن نُقرّ الآن بأن العالم الصغري ليس محكوماً بقوانين حتمية تنظم بدقة تصرف الذرات ومكوناتها، وإنما بالعشوائية واللاحتمية. وإحدى المظاهر التي يتجلى فيها ذلك بوضوح، هي الخصائص الموجية للجسيمات الذرية، كالالكترونات مثلاً، ويقابلها في الطرف الآخر، تمتع الأمواج الكهرطيسية ببعض الخصائص الجسيمية. إن عالم الصغائر ليس مجرد نسخة مصغرة عن عالمنا الذي ندرك في حياتنا العادية، بل هو شيء مختلف نوعياً ويمثل لغزاً من العسير فهمه. إنه عالم المفارقات، يغيب فيه المنطق وتحصل المعجزات جنباً إلى جنب مع تافهات الأمور. في هذا الفصل، سوف نحاول استكشاف العواقب المترتبة على مضامين نظرية الكم، كما سنحاول توصيف الطبيعة اللامادية حقاً لعالم المادة ذي المظهر الملموس.

يفرض مبدأ هايزنبرغ قيوداً على مقدار الدقة التي يمكن بها تحديد موضع جسيم ما أو حركته، إلا أن هذين المقدارين ليسا الوحيدين اللذين يمثلان مصدر اهتمام لنا. فقد نرغب مثلاً بقياس معدل فتل (spin rate) ذرة ما أو اتجاهه، وربما طاقتها أو زمن حياتها قبل أن تنتقل إلى سوية طاقة جديدة. إن تحليل نتيجة رصد هذين المقدارين يتم أيضاً بالطريقة التي شرحناها في معرض حديثنا في الفصل السابق عن استخدام المجهر لتقدير الارتياب في موضع الالكترون واندفاعه.

كمثال للمقادير الفيزيائية الأخرى غير الموضع والحركة، دعنا نستعرض المسألة المتعلقة بتحديد طاقة فوتون من الضوء. فبموجب فرضية بلانك الأصلية في الكم، تتناسب طاقة الفوتون

مع تواتر الضوء: أي أن مضاعفة التواتر تؤدي إلى مضاعفة طاقة الفوتون. واعتماداً على هذه الفرضية، يتم عادة قياس تواتر الضوء لتعيين طاقة فوتوناته، وقياس التواتر يتم بتحديد عدد اهتزازات موجة الضوء خلال زمن معين. إن عدد هذه الاهتزازات في الضوء المرئي يصل إلى حوالي مليون مليار هزة في الثانية الواحدة. ولكي تكون عملية القياس صحيحة، يجب أن لا يقل عدد الاهتزازات المرصودة عن الواحد، ويفضل أن يكون هناك العديد منها. إن انجاز الهزة الواحدة يستغرق بالطبع زمناً معيناً، لأن على الموجة أن تنتقل أثناء ذلك من قمة إلى القمة التي تليها عبر الوادي بينهما، وبالتالي فإن قياس تواتر الضوء في مدة تقل عن هذا الزمن أمر مستحيل، ولو مبدئياً. في حالة الضوء المرئي، هذا الزمن قصير جداً (حوالي الجزء من مليون مليار من الثانية)، أما في حالة الأمواج الكهرطيسية الأطول، كالأمواج الراديوية مثلاً، فقد تستغرق الهزة بضعة أجزاء من الألف من الثانية. لذلك فإن فوتونات الأمواج الراديوية تحمل طاقة صغيرة جداً. وفي الطرف الآخر، هناك فوتونات أشعة غاما التي يبلغ تواترها آلاف المرات من تواتر الضوء المرئي، مما يعني أن طاقة فوتوناتها تبلغ آلاف المرات من طاقة فوتوناته.

من خلال هذه الاعتبارات الجوهرية، يظهر لنا أن هناك حدوداً للدقة التي يمكن بها قياس التواتر، وبالتالي قياس طاقة الفوتون خلال مدة معينة من الزمن. فإذا كان زمن القياس أصغر من دور اهتزاز الموجة ستكون الطاقة غير معينة، وبالتالي فإن هناك علاقة ارتياب تربط بين الطاقة والزمن مماثلة لعلاقة الارتياب بين موضع الجسيم واندفاعه، والتي ناقشناها سابقاً. لذلك، وللحصول على دقة كافية في قياس الطاقة لا بد أن يكون زمن القياس طويلاً؛ لكن إذا كان زمن حدوث حادث ما هو المقدار الذي يهمنا أمره، فإن تحديده بدقة لا بد أن يكون على حساب التضحية بالمعرفة بالطاقة. بكلمات أخرى، هناك مقايضة بين الدقة في تحديد الطاقة والدقة في تحديد الزمن على غرار المقايضة التي صادفناها مسبقاً بين الموضع والحركة. إن لهذه العلاقة الارتيابية الجديدة عواقب درامية سوف نتعرض لها فيما بعد.

قبل المضي إلى أبعد من ذلك في استنباط النتائج، لا بد من التأكيد على النقطة التالية: ليست محدودية الدقة في قياس الطاقة والزمن ناجمة حصراً عن قصورنا التكنولوجي في إجراء عملية القياس، وإنما هي من خصائص الطبيعة المتأصلة فيها؛ إنه ليس هناك من معنى للنظر إلى الفوتون على أنه يمتلك في الحقيقة وفي جميع الأوقات طاقة محددة عجزنا عن قياسها، ولا على أنه قد خُلق في لحظة معينة بتواتر معين. إن الطاقة والزمن خاصتان متضاربتان في الفوتون، وتبعاً لعملية القياس التي

نختار أن نجريها عليه ، تكون إحداهما أكثر دقة من الأخرى . نشير هنا ، ولأول مرة ، إلى الدور المذهل الذي سيلعبه الراصد نفسه في بنية العالم الصغري ، لأن الخصائص التي يمتلكها الفوتون تبدو معتمدة كلياً على ما ينوي الراصد قياسه فعلاً . وفوق ذلك ، فإن علاقة الارتياب بين الطاقة والزمن ، كسابقتها بين الموضع والاندفاع ، ليست مقصورة على الفوتونات والالكترونات ، بل تنطبق أيضاً على كل ما يحدث في العالم الذري .

إن أول ما نستنتجه من الارتياب الطاقي ــ الزمني يخص صفات الضوء الذي تصدره الذرات . فكما ذكرنا في الصفحة ٧٨ ، تتحدد الألوان الصادرة عن المواد المختلفة بالمسافات الفاصلة بين سويات الطاقة وذراتها ، وهذا ما يتيح للفيزيائيين التعرف على المواد الكيميائية من مجرد فحص طيف ضوئها . فمثلاً ، يظهر الطيف الصادر عن أنبوب انفراغ كهربائي مليء بالغاز ، على شكل سلسلة من الخطوط الدقيقة تمثل التواترات (أي الطاقات) المختلفة للضوء الصادر عن ذرات الغاز ، حيث ينشأ كل خط عن فوتونات متساوية الطاقة يتم إشعاعها عندما تقفز الالكترونات في ذرات الغاز من سوية طاقة إلى سوية أخفض .

تعكس خطوط الطيف العلاقة الارتيابية بين الطاقة والزمن بوضوح تام . فصدور الفوتون الواحد يحصل عندما يُرفع الالكترون (بوساطة تيار كهربائي مثلاً) في ذرة ما من سوية طاقية منخفضة إلى سوية أعلى ، مما يضعها في حالة تهيج مؤقتة . إن حالة التهيج هذه هي حالة غير مستقرة لا يمكنها أن تدوم ، ولذلك يعود الالكترون بعد قليل إلى السوية الأخفض الأكثر راحة . تتوقف مدة دوام حالة التهيج على عوامل عدة منها توزع الالكترونات الأخرى والفرق بين سويات الطاقة المختلفة ، ويمكن لهذه المدة أن تأخذ قيماً تتراوح بين جزء واحد من مليار مليار من الثانية حتى بضعة أجزاء من الألف من الثانية ، وأحياناً أكثر من ذلك . فإذا كان زمن حياة هذه الحالة المثارة للذرة قصيراً جداً ، فإن علاقة الارتياب الزمني الطاقي تتطلب أن تكون طاقة الفوتون غير محددة تماماً ، وهذا يعني ، على صعيد فعل الملاحظة ، أنه إذا كانت مجموعة من الذرات في حالات تهيج متماثلة ؛ فإنها لن تصدر فوتونات متماثلة لدى عودتها إلى حالة استقرارها . بدلاً من ذلك ، ستكون مجموعة الفوتونات الصادرة عن تلك الذرات ذات طاقات مختلفة قليلاً فيما بينها ، وكذلك تواتراتها . لذلك ، وعندما يتطلع الراصد إلى الضوء الصادر عن ملايين الذرات ، فإنه لن يرى لوناً معيناً بذاته ، بل عُصبة من ذلك اللون تمتد قليلاً على جانبي خط مركزي طيفي (كما في قوس قزح) . فخطوط الطيف لا تكون إذن ذات عرض معدوم ، بل ذات حافتين متفشيتين ؛ أما عرض الخط فيرتبط

مباشرة بمدة دوام حالة التهيج الذرية . إن الحالات الأقصر أجلاً تؤدي إلى خطوط عريضة ، لأن طاقة الفوتونات (وبالتالي تواتراتها) ليست محددة بكل دقة ، في حين أن الخطوط الضيقة تنبئ عن مدة إثارة طويلة وطاقة محددة بدقة أكبر . واعتماداً على هذه الخاصة يستطيع الفيزيائيون تحديد زمن حياة حالة التهيج ، وذلك عن طريق قياس عرض خط طيفها .

تتمثل إحدى النتائج الهامة لعلاقة الارتياب الطاقي ــ الزمني في انتهاكها لأحد القوانين الأساسية في الفيزياء التقليدية . ففي النظرية النيوتنية حول المادة ، تكون الطاقة منحفظة تماماً وليس هناك من وسيلة يمكن بها خلق الطاقة من لا شيء أو تبديدها إلى لا شيء ، بل يمكن تحويلها من شكل إلى آخر ؛ فالمدفأة الكهربائية مثلاً تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية وضوئية ، والمحركات الانفجارية تحول الطاقة الكيميائية إلى ميكانيكية ... الخ . لكن ومهما كان عدد المرات التي يتم فيها التحويل ، يبقى مجموع الطاقة الكلية كما هو . إن هذا القانون الأساسي في الفيزياء التقليدية كان السبب في إخفاق محاولات الفيزيائيين العديدة لاختراع المحرك تلقائي الحركة ، أي الآلة التي تعمل بدون وقود ، وذلك لاستحالة الحصول على الطاقة من لا شيء .

لكن قانون انحفاظ الطاقة يبدو في نظرية الكم عرضة لأنْ يُخرق . إذ لكي نؤكد أن الطاقة منحفظة فعلاً ، يتوجب علينا ، ومن حيث المبدأ على الأقل ، أن نكون قادرين على قياسها بدقة كبيرة في لحظتين مختلفتين ومن ثم التأكد من أن كمية الطاقة الكلية بقيت كما هي من اللحظة الأولى إلى الثانية . إلا أن علاقة الارتياب الطاقية ــ الزمنية تتطلب أن لا تكون اللحظتان اللتان يتم فيهما القياس متقاربتين أكثر مما ينبغي ، وإلا سيكون هناك ارتياب في مقدار الطاقة المقاسة ، وهذا ما يفتح الباب لإمكانية أن يتعطل قانون انحفاظ الطاقة في فترات جد قصيرة ، بمعنى أنه يمكن للطاقة أن تظهر في الكون فجأة ثم تعود لتختفي بعد مدة زمنية تبيحها علاقة الارتياب . وبتعبير تصويري يمكن أن نقول إن الجملة تستطيع «اقتراض» طاقة في اتفاقية تسوية خاصة تنص على تسديد الدين عاجلاً جداً ؛ وكلما كان «القرض» أكبر ، كان التعجيل في السداد أوجب . إنه على الرغم من أن زمن مثل هذا القرض صغيرٌ جداً ، فإن ما يمكن أن يُفعل به عظيم للغاية ، كما سنرى فيما بعد . على كل حال ، وبما أننا نتعامل هنا مع جمل ذرية ، فإن الطاقة التي نتكلم عنها صغيرة جداً بمقياس الحياة اليومية ، ولا مجال هنا للتفكير بتشغيل آلة تعمل بالطاقة المقترضة ، ذلك الحلم القديم لمخترعي القرون الوسطى . إن أجل القرض المساوي للطاقة المشعة من مصباح كهربائي خلال ثانية واحدة لا يدوم ، حسب مبدأ الارتياب ، أكثر من واحد من مليار مليار مليار مليار من الثانية ، وهذا زمن ضئيل بجميع

معاييرنا في حياتنا العادية. بعبارة أخرى، لا يمكن لآلية اقتراض الطاقة هذه أن تُحسِّن من شدة الضوء الصادر عن مصباح كهربائي بسوى جزء واحد من واحد على يمينه ٣٦ صفراً.

تختلف الأمور على الصعيد الذري عن سواه لأن مقادير الطاقة المتداولة هناك تقل بشكل هائل عما نعرفه في حياتنا العادية، ولأن الفعاليات التي تحصل فيه تبلغ من العنف درجة حتى أن الزمن اللامتناهي في الصغر يكفي للكثير من الأحداث. فالطاقة اللازمة مثلاً لرفع الالكترون إلى حالة ذرية مثارة، هي طاقة صغيرة جداً إلى درجة أنه يمكن اقراضها لبرهة من الزمن لا تزيد عن بضعة أجزاء من مليون مليار من الثانية. قد لا يبدو هذا الزمن طويلاً، إلا أنه يمكن أن يؤدي في الواقع إلى آثار بالغة الأهمية. فلدى تصادف فوتون مع ذرة ما، فإنها تقوم بامتصاصه وتنتقل بذلك إلى حالة متهيجة يرتفع فيها الالكترون من سوية طاقة منخفضة إلى سوية أعلى. لكن إذا لم يكن الفوتون حاملاً لطاقة كافية لرفع الالكترون إلى السوية الأعلى، فإنه يمكن سد العجز عن طريق الاقتراض، وهذا ما يؤدي إلى حصول الإثارة مؤقتاً؛ وإذا لم يكن العجز الطاقي كبيراً جداً، فإن القرض يمكن أن يكون طويل الأجل، وقد يصل إلى جزء من مليون مليار من الثانية، وهذا زمن طويل يتاح فيه للالكترون أن يقوم بدورة كاملة في الذرة، ويمكن أن يكون من رتبة حياة إثارتها. والنتيجة هي أنه لدى إرجاع القرض وإعادة تصدير الفوتون الممتص يمكن للذرة أن تكون غيرت من شكلها بعض الشيء، مما يؤدي إلى عدم إشعاع الفوتون على منحى وروده الأصلي، وهذا ما يمكن التعبير عنه بأن الفوتون الوارد قد تبعثر بفعل الذرة، أو قُل إنه نزا عنها في اتجاه آخر.

كلما كانت طاقة الفوتون الوارد إلى الذرة أقرب إلى الطاقة اللازمة لنقل الكترون فيها إلى حالة مثارة، نقص مقدار القرض اللازم وطال أجله وأجل الحالة المثارة، وبالتالي ازداد أثر البعثرة. وبما أن طاقة الفوتون تتناسب مع تواتره الذي يعتبر في نفس الوقت معياراً للون الضوء، ينتج أن الألوان المختلفة سوف تتبعثر بدرجات متفاوتة. إن هذا هو السبب في أن بعض المواد تكون شفافة إزاء بعض الألوان دون غيرها، أو أنها تبدو ملونة لدى النظر من خلالها، وهو أيضاً ما يشرح سبب لون السماء الأزرق: فضوء الشمس الأبيض يتألف من عدد كبير من التواترات الممزوجة معاً، حيث تمثل التواترات الأعلى اللونين الأزرق والبنفسجي، بينما تمثل الأدنى الأصفر والأحمر. فعندما يصطدم ضوء الشمس بذرات هواء جو الأرض، يتعرض اللون الأزرق فيه لأثر البعثرة على نحو أشد مما تتعرض له الألوان ذات التواتر الأقل. وهذا ما يؤدي إلى تلون السماء بالزرقة، وإلى ميل لون الضوء النافذ حتى سطح الأرض نحو الأصفر، وذلك لفقدان جزء من الأزرق فيه. وعندما تكون الشمس قريبة

من الأفق (صباحاً أو مساءً) يزداد ثخن طبقة الهواء التي يجتازها ضوء الشمس، ويزداد بالتالي أثر تجريده من التواترات الأعلى، وهذا ما يجعله أقرب إلى الأحمر.

كمثال آخر للارتياب الطاقي دعنا نتأمل في مسألة دحرجة كرة على سفح تل باتجاه الأعلى. فعندما تكون طاقة دفع الكرة صغيرة، تتحرك الكرة على السفح باتجاه الأعلى، لكن إلى مسافة قصيرة، ثم تعود أدراجها نحو الأسفل. لكن باستخدام طاقة دفع كبيرة وكافية، يمكن للكرة أن تصل إلى قمة المرتفع ثم تتدحرج على سفحه المقابل باتجاه الأسفل. والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هو: هل يمكن للكرة، عندما تكون طاقة الدفع صغيرة، أن تقترض طاقة حسب مبدأ هايزنبرغ بحيث تتمكن من الوصول إلى قمة المرتفع والانحدار على سفحه المقابل؟ للإجابة عن هذا السؤال يمكن دراسة تصرف الالكترونات (التي تمثل عندئذ الكرات) في حقل قوة كهربائي (والذي يمثل المرتفع بتبطيئه للالكترونات فيه). وفعلاً، إذ تم قذف الالكترونات في مثل هذا الحقل، فإن بعضها يستطيع تجاوز مجاله حتى ولو كانت طاقة قذفها أقل من تلك اللازمة والمحسوبة على أساس لا يأخذ مبدأ اقتراض الطاقة بعين الاعتبار. وعندما يكون عرض المجال الكهربائي صغيراً، يمكن للقرض الذي يحصل عليه الالكترون أن يدوم لمدة تكفيه لاختراق الحقل والخروج من طرفه الآخر، حيث يبدو وكأنه قد مَرَّ عبر نفق فيه خال من أثر التبطيء (كاجتياز الكرة لنفق تحت المرتفع حيث لا تحتاج إلى طاقة كبيرة لعبوره). يدعى هذا عادة بمفعول النفق (tunnel effect)، وهو ذو طبيعة إحصائية شأنه في ذلك شأن كل الظواهر الأخرى في عالم الكم: يمكن للالكترون اختراق حاجز الطاقة باحتمال معين، وكلما كان العجز في مقدار الطاقة اللازم لعبور الحاجز أكبر كان احتمال العبور أصغر بناء على مبدأ الارتياب. في حالة كرة حقيقية تزن مئة غرام وتل ارتفاعه عشرة أمتار وقطر قاعدته عشرة أمتار، يكون احتمال اختراق الكرة لحاجز الطاقة (صعودها إلى أعلى التل ونزولها من الطرف الآخر)، عندما تكون على بعد متر واحد من القمة، مساوياً كسراً بسطه واحد ومقامه واحد على يمينه مليار مليار مليار مليار صفر. فلا عجب إذن في أننا لا نصادف في حياتنا العادية كرات تقفز إلى الأعلى من تلقاء نفسها.

خلافاً لعالم الأجسام الكبيرة، يلعب مفعول النفق دوراً جوهرياً في بعض العمليات التي تجري في العالم الصغري، ومن أمثلتها ما يتعلق بالنشاط الإشعاعي. فنواة الذرة محاطة بحاجز طاقة شبيه بحاجز المرتفع، ويعود وجود هذا الحاجز إلى التنافس بين قوة التنافر الكهربائية بين بروتونات النواة ذات الشحنة الكهربائية المتماثلة، وقوة التجاذب النووية التي تعمل فيما بين البروتونات مع

بعضها ومع نترونات النواة. وحصيلة هذا التنافس هي تغلُّب قوة التجاذب النووية على قوة التنافر الكهربائية، الأمر الذي يؤدي إلى بقاء البروتونات أسيرة ضمن النواة مما يحافظ على استقرارها. إن إحدى أهم خصائص قوة التجاذب النووية هو أنها قصيرة المدى جداً إلى درجة أنها تتلاشى كلياً فيما بعد سطح النواة، في حين أن مدى القوة الكهربائية يذهب إلى أبعد من ذلك بكثير ويمتد تأثيره إلى مسافات شاسعة خارج النواة؛ لذلك، وإذا حصل أن تجاوز بروتون لسبب ما حدود سطح النواة، فإن محصلة القوى المؤثرة عليه حينئذ تكون هي قوة التنافر الكهربائية التي تقوم بدفعه بعنف لينطلق خارج الذرة بسرعة كبيرة.

لقد تم اكتشاف الإشعاعات عالية السرعة من نوى الذرات المشعة في عام ١٨٩٨ من قبل هنري بيكيرل (Henry Becquerel) حين أطلق عليها اسم أشعة ألفا. وبعد ذلك بمدة وجيزة، تبين أن هذه ليست أشعة بالمعنى الدقيق للكلمة، وإنما هي جسيمات مركبة، يتألف كل منها من بروتونين ملتحمين مع نترونين. واليوم، وفي تفسير لظاهرة انطلاق هذه الجسيمات من نوى الذرات المشعة، يأتي مفعول النفق ليلعب دوره. فعندما يكون جسيم ألفا داخل النواة، لا تكون لديه الطاقة الكافية لتجاوز حاجز الطاقة الناجم عن تغلب قوى التجاذب النووية على قوى التنافر الكهربائية والذي يعمل على رص مكونات النواة معاً في رباط قوي. لكن اقتراض جسيم ألفا لبعض الطاقة، حسب مبدأ الارتياب ولبرهة وجيزة من الزمن لا تزيد عن جزء واحد من مليون مليار مليار من الثانية — وهي ما يستغرقه الجسيم لعبور مسافة العشرة أجزاء من مليون مليون من السنتمتر إلى سطح النواة — يتيح له عندئذ المرور من داخل النواة إلى خارجها. بكلمات أخرى، يستطيع جسيم ألفا الخروج من النواة مخترقاً حاجز الطاقة بمفعول النفق. وبعد تحرر الجسيم من الأسر، ينطلق بسرعة كبيرة تحت تأثير قوة التنافر الكهربائية التي لا منافس لها الآن. وكالعادة، يزداد احتمال حدوث إشعاع الجسيم بنقصان مقدار القرض اللازم لتجاوز حاجز الطاقة، والعكس بالعكس، ولذلك نجد أن لكل نواة مشعة احتمالاً محدداً لحدوث الإشعاع بعد زمن معين. ومن أجل كمية كبيرة من الذرات المشعة، وبعد مضي ضعفي ذلك الزمن، تتضاعف كمية الإشعاع الذي يحصل. لهذا السبب يكون لكل نظير مشع عمر نصف محدد بخصوص تفككه، وطول عمر النصف هذا يعتمد بشكل كبير على حجم وثخن حاجز الطاقة النووي الواجب اختراقه لخروج الإشعاع.

هناك في هذا الصدد ما هو أكثر غرابة، وذلك عندما تكون طاقة الجسيمات أكبر من تلك اللازمة لاختراق الحاجز. فبسبب الطبيعة الموجية يمكن لبعض الأمواج أن تنعكس مرتدة عن الحاجز

مهما كانت طاقة هذه الجسيمات كبيرة، مما يعني أن هناك احتمالاً معيناً لارتداد الجسيم عن حاجز الطاقة، حتى ولو كان هذا الحاجز ضعيفاً ورقيقاً للغاية. وبالفعل، فإن هناك احتمالاً، وإن كان ضئيلاً لدرجة لا تصدق، لارتداد رصاصة منطلقة بسرعة هائلة عن منديل ورقي موجود في طريقها.

بدأ في أوائل الثلاثينات من هذا القرن تزاوج بين نظرية الكم ونظرية النسبية الخاصة على يد بول ديراك (Paul Dirac)، وهذا ما فتح الباب على مصراعيه لإمكانيات جديدة لم تكن منظورة من قبل. فحتى ذلك الوقت، بقيت معادلة شرودنغر التي استخدمها الفيزيائيون لوصف أمواج المادة غير متوافقة رياضياً مع مبادئ النسبية الخاصة، وهذا ما دفع ديراك إلى محاولة وضع صيغة بديلة تحقق التوافق المنشود. لكنه وجد أنه لا يمكن الحصول على الصيغة المرضية باستخدام الوسائل الرياضية المتاحة آنذاك، ولذلك كان عليه أن يخترع مقداراً جديداً أسماه سبيناً*(spin)، مكّن معادلته الجديدة من حيازة نوع من التناظر الموجود أصلاً في صلب النسبية الخاصة. في كثير من التطبيقات، لا تختلف نتائج استخدام معادلة ديراك عن النتائج السابقة لها إلا بشكل طفيف، إلا أن وضع هذه المعادلة أدى إلى ظهور سمتين أساسيتين وجوهريتين لا تقلان في غرابتهما عن غرابة ظواهر عالم الكم الأخرى كافة.

السمة الأولى كانت تخص تصرف الجسيمات لدى تدويرها. فتبعاً لقوانين الكم، هناك تنبؤات (احتمالية) محددة حول تصرفات الأجسام أثناء حركتها على مسارات منحنية أو دائرية، وقد وجد ديراك أن تماسك تلك القوانين يستدعي بالضرورة أن يدور الجسيم على نفسه (يُدَوِّم) على نحو ما. إن حركة الالكترون حول النواة تشابه حركة دوران الأرض حول الشمس وحول محورها، إلا أن لحركة دوران الالكترون حول نفسه خاصة متميزة ومحيرة لا تظهر في دوران الأرض حول نفسها. تصور كرة تدور حول محورها الشاقولي باتجاه دوران عقارب الساعة، وافترض أننا قلبنا محور الدوران رأساً على عقب. طبعاً ستستمر الكرة بالدوران حول المحور نفسه لكن بعكس اتجاه دوران عقارب الساعة. إذا قلبنا الكرة مرة أخرى بحيث تعود إلى وضعها الأصلي فإنها ستعود إلى حالتها الأولى، وسيصبح الدوران باتجاه عقارب الساعة ثانية.

يبدو هذا الوصف منطقياً بما يكفي لجعل المرء لا يتردد في اعتباره بديهياً وتعميمه على جميع الأجسام التي تدور على نفسها بما في ذلك الالكترونات. لكن الأمر غير العادي هنا هو أن

* تقابل كلمة spin الإنكليزية فعل التدويم في العربية، أي دوران الشيء على نفسه كما تفعل الدوامة، لكننا نعرب لفظها هنا لشيوعه دولياً. (المُراجع)

الالكترون لا يعود إلى خاصته الأولى بعد تدويره حول محور عمودي على محور تدويمه دورة كاملة ، كما في مثال الكرة السابق ، بل يحتاج إلى دورتين كاملتين . إن الأمر يبدو وكأن للالكترونات شخصية مزدوجة تنفرد بها عن كل الأجسام الكبيرة التي نألفها في حياتنا العادية . إن أصل هذه الطبيعة المزدوجة للالكترون يخص سلوك الموجة المقترنة به عند التدوير ، إذ بعد تدويره دورة كاملة تتبادل قمم و وديان موجاته مواضعها ، ولا تعود إلى حالتها الأُصلية إلا بعد دورة كاملة ثانية . كل هذا يدل على أن حركة التدويم الداخلية للجسيم دون الذري تختلف فعلاً عن الصورة الذهنية البسيطة لدوران الكرة . يمكن ، عملياً ، قياس سبين الالكترون في المخبر ، وقد تم استنتاج وجوده بالاعتماد على التضاعف الغريب الذي لوحظ في الأطياف الذرية قبل أن يقدم ديراك تفسيره . تجدر الإشارة هنا إلى أن خاصية السبين (التدويم) الديراكي المزدوجة لا تشمل جميع الجسيمات دون الذرية ، فبعضها لا يُدوِّم على الإطلاق ، وبعضها الآخر يحمل وحدتين أو أربع وحدات سبينية الأمر الذي يلغي ازدواجية شخصيتها . لكن على كل حال ، فإن جميع الجسيمات المألوفة ، كالالكترونات والبروتونات والنترونات ، التي تمثل المكونات الأساسية للمادة العادية ، تتمتع بالسبين الذي تحدث عنه ديراك .

خرج من عمل ديراك أيضاً نتيجة مثيرة أخرى تذهب إلى أبعد من السبين في غرابتها . لقد احتاجت مضامين المعادلة إلى عدة سنين لتصبح مفهومه ومهضومة من قبل الفيزيائيين ، لكن قبل ذلك ، ومنذ عام ١٩٣١ ، بدأ ديراك بالتركيز على خاصة بسيطة ، وإن كانت غريبة ، في رياضياته الجديدة التي ابتدعها . فكالعادة ، ومثل جميع الفيزيائيين ، نظر ديراك إلى المعادلات الرياضية على أنها أشياء يجب حلها ، وافترض أن كل حل من حلول المعادلة يمثل وصفاً لحالة فيزيائية ما . فمثلاً ، لو تم استخدام المعادلة لاستقصاء حركة الالكترون في مداره حول ذرة الهيدروجين ، فإن كل حل لها يجب أن يطابق حالة ممكنة معينة من حالات الحركة . لكن معادلة ديراك ، كما كان متوقعاً ، تقبل عدداً لا نهائياً من الحلول ، واحد لكل سوية من سويات طاقة الذرة ، وفوق ذلك ، لحركات الالكترونات عالية الطاقة التي تتجول بحرية تامة بعيداً عن أثر جذب نواة الهيدروجين لها . لكن الأمر المقلق كان في اكتشاف حلول ليس لها ما يقابلها في الواقع الفيزيائي ؛ وقد بدت هذه الحلول عديمة المعنى للوهلة الأولى . لقد وُجد أن مقابل كل حل يصف الكتروناً ذا طاقة معينة ، يوجد حل آخر ، كأنه خيال للحل الأول في مرآة ، يصف الكتروناً آخر ذا طاقة مساوية لكن سالبة .

لقد كان ينظر للطاقة قبل ذلك على أنها — كالنقود— مقدار فيزيائي موجب . فالجسم يكتسب طاقة لدى تحريكه أو شحنه بشحنة كهربائية أو إثارته بطريقة من طرق التحريض العديدة ،

كما يمكن لطاقة الجسم أن تُستنزف كلياً بحيث يصبح عندئذ معدوم الطاقة. لكن ماذا يعني أن يكون الجسم ذا طاقة أقل من الصفر؟ كيف يبدو هذا الجسم وكيف يمكن أن يكون تصرفه؟ لقد كان ديراك في البداية غير مقتنع بالحلول المرآتية التي نتجت عن معادلته، ولم يَر فيها سوى ترف رياضي لا يمت إلى عالم الفيزياء بصلة. لكن الخبرة التجريبية كانت تؤكد أنه إذا كان هناك حل رياضي لقانون من قوانين الطبيعة، فإنه غالباً ما يكون له مقابل فيزيائي. وهكذا قام ديراك بمعاينة ماذا يمكن أن يحصل لو أن حالات الطاقة السالبة تلك كانت حالات ممكنة فعلاً في المادة. لقد أدرك أن هذه الحالات تمثل مفارقة كبيرة، لأن وجودها يبيح لأي الكترون عادي أن يقفز نحو الأسفل إلى حالة طاقة سالبة مُصدراً بذلك فوتوناً، تماماً كما يحصل لدى انتقاله من سوية طاقة أعلى إلى سوية أخفض. وبالتالي، فإن ما كان يُؤخذ على أنه أخفض سوية طاقية (موجبة) في الذرة، لم يَعُد هو الأخفض على الإطلاق، الأمر الذي يجعلنا نعود إلى المشاكل القديمة التي تقضي بالبحث عن السبب الذي يحمي الذرة من الانهيار. الأكثر من ذلك، فإنه لا يوجد حد لعدد الحالات الديراكية سالبة الطاقة، الأمر الذي يهدد كامل المادة في الكون بالانزلاق نحو هاوية لا قرار لها في وسط يعج بكميات لا متناهية من أشعة غاما.

لتجنب الكارثة، قدم ديراك الاقتراح المدهش التالي: لماذا لا يكون عدم انهيار المادة العادية في تلك الهاوية التي لا قرار لها ناجماً عن كون سويات الطاقة السالبة كافة مُحتلة أصلاً من قبل جسيمات أخرى؟ إن التعليل الذي تقوم عليه هذه الفكرة يأتي من اكتشاف هام تم على يدي الفيزيائي الألماني فولفغانغ باولي (Wolfgang Pauli) في عام ١٩٢٥، حيث كان يدرس خواص الجسيمات الدوامة (ذات السبين)، لا إفرادياً بل مجتمعة. إن الطبيعة الازدواجية في السبين ذات صلة وثيقة بأسلوب استجابة جسمين أو أكثر للتقارب فيما بينها. فكنتيجة للخواص الموجية، يتحسس كل الكترون وجود الآخر إلى جواره، لا بفضل القوة الكهربائية بينهما، بل بسبب تداخل ذُرى و وديان كل موجة مع نظيراتها في الموجة الأخرى. إن دراسة هذا المفعول رياضياً تُبيِّن وجود نوع من التنافر يحول دون أن يحتل أكثر من الكترون واحد حالة كمومية واحدة. وعلى وجه التقريب، لا يمكن لالكترونين أن ينحشرا في بوتقة واحده جد متجاورين: فكأن لكل الكترون مقاطعته التي لا يسمح لغيره بغزوها.

ينتج عن مبدأ باولي المذكور في الانتفاء (أو عدم التعدي) العديد من الآثار الهامة. إن هذا المبدأ يتضمن أنه إذا كان هناك مجموعة كثيفة من الالكترونات المحشورة في حيز ما، فإن المجموعة

ستكون صلبة جداً ضد التقارب أكثر مما ينبغي . إن أحد الأمكنة التي يظهر فيها تزاحم المادة على أشده هو مركز النجم . فبسبب كتلة النجم الهائلة ، تنكمش نواته تحت تأثير الثقالة لتصبح ذات كثافة عالية جداً قد تصل إلى المليار كيلوغرام في السنتمتر المكعب الواحد . بعدئذ وطالما أن النجم يحتوي على وقود يحرقه ، يتباطأ الارتصاص نتيجة تزايد الضغط الداخلي الناجم عن ارتفاع درجة الحرارة الداخلية ، ويستمر ذلك إلى أن ينفذ الوقود وتنخفض الحرارة نسبياً ليعود الارتصاص إلى التزايد ثانية . عندئذ تبدأ الالكترونات بالشعور بعدم الراحة لاقترابها بعضاً من بعض ، وتفعل خاصة الانتفاء فعلها لتحمي النجم من الانسحاق التام . لكي تحصل مثل هذه الأحداث في نجم كشمسنا ، يلزم حوالي خمسة آلاف مليون سنة ، لكنها عندما تحدث فإن النتائج ستكون مرعبة . إن خصائص المادة المسحوقة تلك في نواة النجم تتحدد عندئذ بشكل رئيسي بالالكترونات التي تشارك في الأحداث جماعياً ، حيث تؤدي خاصة الانتفاء إلى غير المألوف . فبدلاً من أن تؤدي الحرارة الهائلة إلى تمدد مادة النجم ومن ثم إلى انخفاض درجة حرارتها ، يبقى التسخين مأسوراً في الداخل مؤدياً إلى الارتفاع المتزايد لدرجة الحرارة . وإذا استمرت هذه الحالة إلى درجة يبدأ عندها احتياطي جديد من الوقود بالاحتراق ، يتنامى التسخين الداخلي فجأة وتنفجر نواة النجم على نحو لا يكفي لتفككه إلى شظايا وإنما بما يكفي لتبديل بنيته من نجم كبير بارد أحمر إلى عملاق حار أزرق . وفي النهاية ، ينفد الوقود بشكل تام وينكمش النجم إلى ما يقارب حجم أرضنا لتحميه الكتروناته ثانية من الانكماش اللامتناهي .

يوجد مجال آخر يلعب فيه مبدأ الانتفاء بين الالكترونات دوراً أساسياً ، هو الذرة ذاتها التي قد تحتوي على عشرات الالكترونات الموجودة على مدارات حول نواتها . فللوهلة الأولى يبدو أن الالكترونات كافة يجب أن تنزلق إلى أخفض سوية طاقية ممكنة ، على نحو مشابه لما تحدثنا عنه في معرض وصفنا للنموذج النيوتني للذرة وللعيوب الأساسية فيه . ولو تيسر لها ذلك ، لاختلطت الالكترونات معاً بشكل عشوائي ولأصبح من الصعب تصور وجود رباط كيميائي مستقر يضمن ترابط الذرات معاً لتشكيل جزيئات المواد الكيميائية المختلفة . لكن هذا لا يحدث ، بل تنتظم الالكترونات حول النواة في مدارات تغلف بعضها بعضاً ، حيث يُمنع الالكترون في المدار الخارجي من النزول إلى المدار الداخلي وذلك بما ينسجم مع مبدأ الانتفاء ، ولولا هذه الخاصة لانكمشت جميع الذرات الثقيلة إلى حطام .

لنعُد الآن إلى مشكلة حالات الطاقة السالبة التي تتنبأ بها معادلة ديراك ، ولننظر كيف أن

مبدأ باولي يقدم الحل لذلك اللغز المحيِّر: فكما أن الالكترون لا يستطيع النزول إلى سوية طاقة أخفض يحتلها الكترون آخر، فإن الالكترون الموجود في أخفض سوية طاقية موجبة لا يستطيع النزول إلى سوية طاقة سالبة، وبالتالي إلى الهاوية التي لا قرار لها، إذا كانت سويات الطاقة السالبة جميعاً ممتلئة بالالكترونات. إنها فكرة بسيطة ورائعة، إلا أن فيها عيباً واضحاً، إذ أين هي تلك الالكترونات (ومعها الجسيمات) ذات الطاقة السالبة التي تملأ هذه الهاوية؟ الأكثر من هذا، وبما أن الهاوية بلا قرار، فإنه يجب أن يكون هناك عدد لا نهائي من الجسيمات لملئها. ويأتي جواب ديراك، الذي يبدو للوهلة الأولى مجرد خدعة، ليقول إن هذا العدد اللانهائي من الجسيمات ليس محسوساً لنا، وإن ما نظنه عادة خلاء مطلقاً ليس خلاء على الإطلاق، بل هو مليء ببحر لا متناه من مادة ذات طاقة سالبة لا نشعر بها.

لقد كان لفكرة ديراك، على غرابتها، قدرة تنبؤية واقعية يمكن استشعارها مثلاً من استعراض كيفية تفاعل جسيمات الطاقة السالبة مع فوتون ضوئي. فعلى غرار ما يحدث للالكترون العادي، يستطيع الكترون الطاقة السالبة امتصاص فوتون واستخدام طاقته للقفز إلى سوية طاقة أعلى، طالما أن هناك مكاناً متاحاً له في تلك السوية. وإذا كانت طاقة الفوتون كبيرة بقدر كاف، يمكن لالكترون الطاقة السالبة أن يرتفع إلى مجال سويات الطاقة الموجبة حيث يمكنه أن يجد الرحب والسعة، ويبدو هذا الحدث لنا عندئذ كظهور مفاجئ للالكترون من العدم مصحوب بالاختفاء الفوري للفوتون. وباعتبار أن الكترون الطاقة الموجبة محسوس لنا، وذلك خلافاً لالكترون الطاقة السالبة، فإن الانتقال المذكور يعني ببساطة تامة أن مادة الالكترون تأتي من الفضاء الخالي. لكن ليس هذا كل ما في الأمر، ذلك أن الالكترون الذي يقفز إلى الأعلى يترك خلفه فجوة، أو مكاناً شاغراً، في بحر الطاقة السالبة، وهذه الفجوة لا بد أن تتجلى لنا بشكل ما. وفي الواقع، وبما أن الجسيم الممتص من بحر الطاقة السالبة (والذي يظهر كالكترون عادي في مجال الطاقة الموجبة) يمتلك أصلاً شحنة كهربائية سالبة بالإضافة إلى الطاقة السالبة، فإن غيابه يجب أن يتجلى على شكل جسيم ذي شحنة موجبة وطاقة موجبة. وهكذا، يترافق الخروج المفاجئ للالكترون من بحر الطاقة السالبة مع ظهور جسيم مقابل له تقابل الخيال في المرآة، لكن ذي شحنة موجبة. وبما أن هذا الجسيم الجديد ذو طاقة موجبة، فلا بد بالطبع أن يكون محسوساً لدينا.

بناء على ذلك، تتنبأ معادلة ديراك بوجود جنس جديد كلياً من المادة، يعرف اليوم بالمادة المضادة. ففي عام ١٩٣٢، اكتشف الفيزيائي الأمريكي كارل أندرسون (Karl Anderson)

الالكترون المضاد (المعروف اليوم بالبوزترون) وسط وابل من الجسيمات الذرية الواردة ضمن الأشعة الكونية من الفضاء الخارجي، ومنذ ذلك الحين تم إنتاج المئات من جسيمات المادة المضادة في المخابر، الأمر الذي يؤيد تنبؤات معادلة ديراك على نحو لا يقبل أدنى شك. وكما كان متوقعاً، لا تعيش المادة المضادة طويلاً، ذلك لأن الفجوة في بحر الطاقة السالبة تمثل مكاناً مريحاً يسعى إليه كل جسيم ذي طاقة موجبة. فلدى تلاقي الكترون عادي مع مثل هذه الفجوة يقوم باحتلالها مباشرة ليختفي كلياً من الكون تاركاً مكانه مقداراً من أشعة غاما يساوي الفرق بين طاقته الأصلية وطاقة الفجوة التي احتلها. إن هذه الحادثة هي العملية المعاكسة لخلق زوجي الجسيم والجسيم المضاد، وتُرى عادة لدى تصادف الكترون مع بوزترون وما يتبعه من فنائهما المشترك وإصدار لأشعة غاما. وهكذا، عندما تلتقي المادة مادتها المضادة، تختفيان معاً في تفان انفجاري لا مناص منه.

إن فكرة خلق المادة واختفائها ليست سوى نتيجة لنظرية النسبية الخاصة التي ضمنها ديراك في معادلته ببراعة فائقة. لقد رأينا في الفصل الثاني كيف أنه إذا تم تسريع جسيم إلى ما يقارب سرعة الضوء فإن كتلته تزداد باضطراد في محاولة منه لتحاشي اختراق جدار الضوء؛ إن كتلة الجسيم المتزايدة عندئذ ما هي إلا تعبير عن تحول الطاقة إلى مادة، وتلك الطاقة هي ذاتها التي تظهر على شكل زيادة في سرعة الجسيم عندما تكون سرعته منخفضة. من هذا ينتج أن الكتلة ما هي في الواقع سوى شكل مُقَمْقم من أشكال الطاقة، فكتلة البروتون مثلاً تساوي حوالي الجزء الواحد من مليون مليار مليار من الغرام، لكن وعلى الرغم من ضآلة هذه الكتلة فإنها تُنتج لدى استحالتها إلى طاقة ومضة من الضوء يمكن رؤيتها بالعين المجردة على مسافة تصل إلى عشرة أمتار. إن تحول هذه الطاقة إلى مادة، يفسر الظهور المفاجئ لأزواج الجسيمات والجسيمات المضادة التي تتنبأ بها معادلة ديراك، وكمية الطاقة اللازمة لذلك تحددها علاقة آينشتاين الشهيرة وهي تساوي جداء الكتلة بمربع سرعة الضوء. أما العملية المعاكسة لذلك والتي تتحول فيها المادة إلى طاقة، فتحصل في محطات الطاقة النووية، كما أنها تحصل في الشمس التي يتحول فيها أربعة ملايين طن من المادة كل ثانية إلى طاقة تنتشر في الفضاء الكوني.

إذا كانت المادة شكلاً من أشكال الطاقة، كما يدعي آينشتاين، فلا بد أن يكون للطاقة وزناً كالمادة تماماً. ماذا يحصل لأربعة الملايين طن من المادة التي تفقدها الشمس كل ثانية من كتلتها؟ الجواب هو أنها تتحول إلى ضوء الشمس؛ لذلك فإن ذلك المقدار من الضوء الصادر عنها كل ثانية يجب أن يزن أربعة ملايين طن. لكن كيف يمكننا التأكد من هذا عملياً؟ إن كمية ضوء الشمس

التي تصل إلى الأرض كل ثانية لا تزن أكثر من ٢ كيلوغرام ، ولذلك فإن جمع هذا الضوء في محاولة لوزنه هو أمر عديم الجدوى . المدهش في هذا الموضوع هو وجود طريقة عملية أخرى لقياس وزن الضوء ، وبالتحديد الضوء القادم من النجوم البعيدة والأضعف بكثير من ضوء الشمس . إن ثقالة الشمس أكبر بكثير من ثقالة الأرض ، ولذلك فإن وزن الضوء مقاساً بالقرب من الشمس يزيد كثيراً عن وزنه على سطح الأرض ، وبالاعتماد على هذه الخاصة ، يمكن قياس وزن شعاع ضوء وارد من نجم بعيد بمراقبة مدى انحرافه بفعل ثقالة الشمس لدى مروره بالقرب من حافتها ، وهذا هو بالضبط ما فعله إدينغتون خلال كسوف عام ١٩١٩ كما ذكرنا سابقاً في الصفحة رقم ٥٩ .

على الرغم من النجاح الذي لاقته نظرية ديراك حول البحر اللامتناهي من جسيمات الطاقة السالبة ، فقد كان من الصعب تقبلها . وقد تبين فعلاً ، بفضل التطورات الرياضية اللاحقة ، أنها ليست أكثر من نموذج افتراضي يحتاج إلى معالجة رياضية أعمق لتستطيع تقديم تفسير شامل لنشوء المادة واختفائها . في النظرية الأحدث حول الموضوع ، يبقى ظهور المادة والمادة المضادة واختفاؤهما قائمين كما في السابق ، إلا أن المسألة المتعلقة بسويات الطاقة السالبة تأخذ وجهاً أخر .

يقود دمج فكرة نشوء أزواج الجسيمات والجسيمات المضادة مع علاقة الارتياب الطاقي ــ الزمني إلى آثار فيزيائية جديدة مثيرة في مغزاها . فلرفع الالكترون من مجال الطاقة السالبة ، وبالتالي خلق زوج الالكترون والبوزترون ، يلزم مقدار من أشعة غاما لا تقل طاقته عن ضعفي المقدار المُعطى بعلاقة آينشتاين ، ويمكن لهذه الكمية الكبيرة من الطاقة أن تُقترض لمدة زمنية تساوي تقريباً جزءاً من ألف مليار من الثانية ، الأمر الذي يُمكّن الزوجين الناشئين من الاستمرار في الوجود قليلاً قبل فنائها من جديد . إن مثل هذه الأشباح من المادة والمادة المضادة تملأ الفضاء بكامله ، وما ننظر إليه نحن على أنه خلاء مطلق ما هو في الواقع سوى بحر من الفعالية المستمرة الدؤوبة مليء بجميع أشكال المادة المؤقتة الوجود ، كالالكترونات والبروتونات والنترونات والفوتونات وجسيمات أخرى كثيرة يدوم كل منها مدة ضئيلة من الزمن ثم يختفي من جديد ، ولتمييز هذه الجسيمات الطفيلية المحدودة العمر عن المادة العادية ، يطلق الفيزيائيون على الأولى اسم المادة الوهمية ، في حين يسمون الثانية بالمادة الحقيقية .

إن ضجيج أشباح العالم الوهمي ليس مجرد خيال من شطحات النظريين ، بل يمكن لغليانها أن ينتج آثاراً محسوسة حتى ضمن الأجسام المادية المألوفة . فمثلاً ، تظهر الطبيعة الهلامية التي تتمتع

بها بعض أنواع الدهانات، كنتيجة لقوى داخلية بين جزيئات المادة تتحرض بسبب اضطرابات الفراغ. كذلك، من الممكن إحداث اضطراب في الفراغ بفعل إدخال المادة فيه. فالصفيحة المعدنية التي تعكس الضوء، تعكس أيضاً الفوتونات الوهمية الناشئة في الفراغ والتي بحصرها بين صفيحتين متوازيتين، يمكن أن يطرأ على طاقتها تغير طفيف تنشأ عنه قوة تؤثر في الصفيحتين ونستطيع قياسها.

لقد غيرت هذه الإمكانيات الجديدة بشكل عميق نظرة الفيزيائيين إلى العالم الذري، ولم يَعُد الالكترون مثلاً، مجرد جسيم نقطي بسيط، بل أصبح جسيماً فعالاً يشع ويمتص الفوتونات الوهمية باستمرار تبعاً لمبدأ هايزنبرغ في اقتراض الطاقة: فكل الكترون تحيط به غيمة كاملة من الفوتونات الوهمية؛ وإذا استقصينا أكثر من ذلك، نستنتج أيضاً وجود بروتونات ونترونات وميزونات، جميعها وهمية، إضافة إلى فصائل الجسيمات الأخرى كافة، تحيط جميعها بالالكترون وتتفاعل معه بما يشبه غليان خلية النحل. وليس هذا مقصوراً على الالكترونات فحسب، بل يشمل أيضاً جميع الجسيمات دون الذرية التي يحيط بكل منها غلاف معقد من المادة الوهمية.

تؤدي الغيمة الوهمية المحيطة بالجسيم أحياناً إلى آثار فيزيائية غير متوقعة. فالنترون مثلاً، جسيم معتدل كهربائياً، بمعنى أن محصلة الشحنات الكهربائية فيه تساوي الصفر. لكن كل نترون مكسو بغيمة من الجسيمات الوهمية، بعضها يحمل شحنة كهربائية؛ إن هناك دائماً عدداً متماثلاً من الشحنات الموجبة والشحنات السالبة، إلا أنه ليست كلها بالضرورة في مكان واحد. فإذا رجمنا النترون بالكترون مثلاً، يتسبب الالكترون في بعثرة الغيمة الوهمية حول النترون مما يؤدي إلى تغير توزع شحناتها. لكن النترون، كجسيم ديراكي، يمتلك أيضاً سبيناً متأصلاً، أي أنه يُدَوِّم، ولذلك فهو يجُرُّ في تدويمه تلك الطبقات المشحونة مولداً تيارات كهربائية محلية في محيطه؛ ويرافق التيارات الكهربائية دائماً نشوء حقل مغناطيسي، وقد أمكن فعلاً قياس هذا الحقل حول النترون في المخبر. عندما تم ذلك لأول مرة عام ١٩٣٣، أصاب الفيزيائيين ذهول كبير، لأنهم لم يكونوا يتوقعون أن يكون للجسيم المعتدل كهربائياً حقل مغناطيسي.

لئن كنا نستطيع أن نعتبر الجسيم محوطاً بحاشية من الجسيمات الوهمية تنتقل معه أينما ذهب، فإن أياً من هذه الجسيمات الوهمية لا يعيش طويلاً بما يكفي لتمنحه هوية مستقلة خاصة به، لأن أباه يمتصه فور صدوره (فور انتهاء فترة قرض هايزنبرغ). ومع ذلك، فإن كلاً من هذه الجسيمات الوهمية محاط، كالجسيم الأب، بغيمة وهمية أخرى أسرع زوالاً، ولكل جسيم في هذه الغيمة الأخرى

غيمة وهمية ثالثة ... وهكذا دواليك إلى ما شاء الله. فإذا اختفى الجسيم الأب، لأي سبب كان، يزول سبب امتصاص الجسيمات الوهمية، فتسمو بها الحال لتدخل عالم الوجود الحقيقي، وهذا ما يحصل لدى تلاقي المادة مع المادة المضادة. فعندما يلتقي مثلاً بروتون مع بروتون مضاد، فإنهما يختفيان فجأة تاركين وراءهما في العالم الحقيقي بعض الميزونات، وربما بعض الفوتونات تائهة لا تدري إلى أين تسير. لذلك تظهر هذه الميزونات والفوتونات في العالم الحقيقي على أنها جسيمات جديدة بعد أن يكون قد تم تسديد القرض لمبدأ هايزنبرغ نهائياً على حساب الضحيتين المتلاشيتين: البروتون والبروتون المضاد اللذين استحالت كتلتاهما إلى طاقة.

هناك ظواهر دون ذرية عديدة ساعدت في جلائها علاقة الارتياب الطاقية ـــ الزمنية. فإحدى المعضلات التي واجهت الفيزياء الذرية كانت تفسير كيفية تفاعل جسمين بوساطة قوة كهربائية تعمل بينهما. قبل نظرية الكم، كان الفيزيائيون يعتقدون بوجود حقل مغناطيسي يحيط بالجسيمات المشحونة كهربائياً، ويفعل بالجسيمات المشحونة المجاورة فعلاً يتجلى على شكل قوة. وبعد أن بينت نظرية الكم أن الأمواج الكهرطيسية تظهر مصرورة على شكل كموم، أو فوتونات، اجتهد العلماء في التعبير عن مظاهر الحقل الكهرطيسي كافة بلغة الفوتونات، وضمنها كانت محاولة تفسير القوة الفاعلة بين الجسيمات المشحونة كهربائياً. إلا أنه لم يُلاحَظ وجود لأي فوتون في عملية تنافر الالكترونات، الأمر الذي تطلب الانتظار حتى تم تطوير مفهوم الجسيمات الوهمية في الثلاثينات عندما تم وضع اليد على الفوتونات التي تُراوح باستمرار بين الالكترونين مؤدية إلى وجود قوة التنافر التي بيَّن التحليل الرياضي أنها تتمتع بنفس الخصائص المتوقعة للحقل الكهرطيسي.

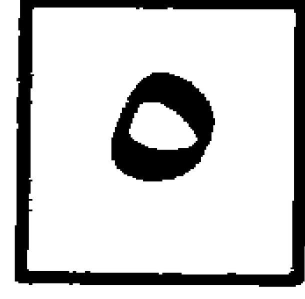
بعد نجاح فكرة الفوتونات الوهمية في تفسير القوى الكهرطيسية، برز السؤال عما إذا كانت قوى الطبيعة الأخرى، كالثقالة والقوى النووية، تخضع لتفسير مماثل. إن تكميم الثقالة (أي معالجتها تبعاً لنظرية الكم) موضوع هام سنؤجل الكلام عنه إلى الفصل القادم. أما فيما يخص القوى النووية التي تنقسم إلى نوعين من القوى، إحداهما هي القوة الشديدة، والتي تربط معاً مكونات نواة الذرة من بروتونات ونترونات، تختلف كلياً في طبيعتها عن القوة الكهرطيسية. فهي أولاً (أي القوة النووية الشديدة) أقوى بمئات المرات، لكن تغير شدتها تبعاً للمسافة أمر معقد؛ ففي حين يبلغ مدى القوة الكهرطيسية شأواً بعيداً ولا تتلاشى شدتها إلا ببطء (بموجب ما يسمى بقانون التربيع العكسي)، يتبين أن القوة النووية المذكورة قصيرة المدى ولا تتغير كثيراً، فهي تكاد تتلاشى بصورة مفاجئة عندما تبلغ المسافة بين الجسيمين المتفاعلين قرابة جزء من مليون مليون من السنتمتر. إن

هذا الانحدار الشديد في القوة النووية الشديدة على مدى قصير، حيوي جداً في أمر بنية النواة الذرية واستقرارها، لكن ينفي إمكانية تفسير هذه القوى بتبادل الكموم على غرار الفوتونات الوهمية.

لم يأتِ حل مسألة القوة النووية هذه إلا في عام ١٩٣٥ على يد الفيزيائي الياباني هيدكي يوكاوا (Hideki Yukawa) الذي اقترح أن الجسيمات النووية (البروتونات والنترونات) تتبادل كموماً وهمية لحقل من نوع جديد ــ الحقل النووي ــ لكنها، بخلاف الفوتونات الوهمية، ذات كتلة مادية. إن فهم الكيفية التي يؤدي بها وجود تلك الكتلة إلى وجود القوة النووية القصيرة المدى، يأتي من خلال علاقة الارتياب الطاقية ــ الزمنية. فبموجب علاقة آينشتاين (التي تساوي الطاقة مع جداء الكتلة بمربع سرعة الضوء) ينتج أن الكتلة شكل من أشكال الطاقة، وأن بالإمكان، كما ذكرنا، أن نولد كتلة من الطاقة؛ وكتلة كموم يوكاوا لا تخرج عن هذا القانون. لذلك، وحسب مبدأ هايزنبرغ، ومن أجل صنع كم واحد من كموم يوكاوا، يلزم اقتراض مقدار كبير من الطاقة، الأمر الذي يعني أن زمن القرض سيكون صغيراً للغاية، مما يُقصِّر المسافة التي يمكن للكم الناشئ أن يقطعها. إن هذا هو ما يفسر قصر مدى القوة النووية الشديدة والذي لا يزيد عن الجزء الواحد من عشرة آلاف مليار من السنتمتر. وبالتحليل الرياضي الكامل، وباستخدام قيمة ذلك المدى، تمكن يوكاوا من تحديد كتلة كمومه الوهمية لتكون مساوية لكتلة حوالي ثلاثمئة الكترون. وكما هو الحال بالنسبة للفوتونات الوهمية التي يمكن أن تنتقل إلى عالم الوجود الحقيقي لدى تلاقي الكترون مع الكترون مضاد، كذلك تنتقل كموم يوكاوا إلى الوجود الحقيقي لدى تصادف بروتون مع بروتون مضاد. لقد دعى يوكاوا كمومه هذه بالميزونات، وهي ذات كتلة تقع في الوسط بين كتلة الالكترون والبروتون. وبعد عشرة أعوام من افتراض يوكاوا، تم اكتشاف الميزونات في وابل الأشعة الكونية التي تنهال على الأرض من الفضاء الخارجي؛ أما اليوم فيتم إنتاجها في المخابر بشكل روتيني وذلك بواسطة المسرعات النووية الضخمة.

صحيح أن الأفكار المطروحة في هذا الفصل كانت أولية نوعاً ما، وأن تناولها بدقة يتطلب معالجة رياضية معقدة، إلا أن نتائجها بعيدة المدى. إن العالم الذي يبدو لنا ملموساً متماسكاً، ينقلب إلى وهم وأشباح عندما نسبر غور المادة في أعماق دقائقها؛ فهناك نجد عالم التحولات والاضطرابات حيث يمكن للجسيمات المادية أن تفقد هويتها وأن تتلاشى من الوجود كلياً. وبدلاً من أن يكون عالم الصغائر الذري آلة إيقاعية تسعى بوتيرة رتيبة إلى قدر محتوم، يتجلى هذا العالم على شكل وجود فانٍ متجدد ومضطرب معاً تحكمه اللاحتمية التي قضت على الكثير من المبادئ

المقدسة في الفيزياء التقليدية. ولئن كانت الدوافع إلى البحث عن حتمية قانونية، في أحشاء هذه العشوائية الذرية، قوية، إلا أنها على ما يظهر عديمة الجدوى، كما سنرى فيما بعد. إنه لا مناص من القبول بأن هذا العالم بعيد عن أن يكون مادياً وخانعاً بقدر ما كنا نتوهم.



الفضاء العظيم

على صعيد الكم، يذوب العالم الذي يبدو لنا بالخبرة ملموساً متماسكاً، في خضم الضجيج دون الذري، وتعشش الفوضى في جوهر المادة، وتسود العشوائية التي لا يحكمها سوى قوانين الاحتمال لتحيل الكون إلى ما يشبه دولاب اليانصيب. لكن ماذا عن الحلبة التي تدور عليها لعبة الحظ هذه؟ ماذا عن الزمكان الذي يشكل الأرضية التي تمارس جسيمات المادة الفوضوية لعبتها عليها؟ لقد رأينا في الفصل الثاني أن الزمكان ذاته ليس مطلقاً ولا سرمدياً كما كان يُعتقد مسبقاً، بل يتمتع بنوعية دينامية تتسبب في انحنائه وتشوهه ونشوئه وتغيره، وهذه التغيرات في الزمان والمكان تحصل محلياً في محيط الأرض وعلى سطحها، كما تحصل على صعيد الكون بالكامل. لقد أدرك الفيزيائيون منذ وقت مبكر أن أفكار الكم يجب أن تنطبق أيضاً على فعاليات الزمكان كما تنطبق على المادة، الأمر الذي كان له فيما بعد العواقب البعيدة الأثر.

إحدى النتائج المثيرة لنظرية آينشتاين في الثقالة (والمعروفة باسم نظرية النسبية العامة) هي إمكانية وجود أمواج ثقالية. فقوة الثقالة تشبه في بعض النواحي القوة الكهربائية بين جسمين مشحونين، أو المغناطيسية بين قطبين، حيث تلعب الكتلة في الثقالة دور الشحنة. تنشأ الأمواج الكهرطيسية عندما يحصل اضطراب في الشحنات الكهربائية، كما يحدث في هوائي جهاز إرسال راديوي مثلاً، ويعود السبب في ذلك إلى ما يلي. يحيط بالشحنة الكهربائية حقل كهربائي هو مجال تأثيرها على الشحنات الكهربائية الأخرى الموجودة في جوارها، ولدى تحرك الشحنة يتحرك الحقل معها أيضاً ويُعدل من شكله تبعاً لموضعها الجديد. لكن الحقل لا يستطيع أن يواكب حركة

الشحنة آنياً، لأن نظرية النسبية تمنع الأشياء كافة، والحقل من بينها، من الحركة بسرعة تزيد عن سرعة الضوء. ولذلك، لا يمكن لنقاط الحقل المختلفة أن تعرف أن الشحنة قد تحركت إلا بعد مضي زمن لا يقل عن الزمن اللازم لانتقال الضوء من موقع الشحنة إلى النقاط المعتبرة. من هذا ينتج أن تشوهاً سوف يصيب الحقل، لأنه عندما تتحرك الشحنة فإن نقاط الحقل البعيدة عنها لا تعلم بهذه الحركة إلا متأخرة بالمقارنة مع نقاط الحقل القريبة التي تستجيب للتغير على نحو أسرع. إن الأثر الناجم عن ذلك هو نشوء اضطراب في القوة الكهرطيسية ينتشر بعيداً عن موضع الشحنة بسرعة تساوي سرعة الضوء، ولدى تحريك الشحنة جيئة وذهاباً على نحو منتظم، أي لدى أرجحتها في مجال مكاني معين، يتأرجح اضطراب الحقل بالمثل ليأخذ شكلاً من أشكال الموجات التي تمثل عندئذ الإشعاع الكهرطيسي. إن الموجات الكهرطيسية معروفة لنا جميعاً وهي ملحوظة لنا في حياتنا العادية من خلال الضوء المرئي والأمواج اللاسلكية والإشعاع الحراري والأشعة السينية وغيرها مما لا يختلف عن سواه إلا بطول موجته.

وعلى غرار نشوء الأمواج الكهرطيسية، نتوقع أن يسبب اضطراب الأجسام ذات الكتل الهائلة نشوء أمواج تنتشر في حقل الثقالة المحيط بها. لكن أمواج الثقالة، وخلافاً لأمواج الكهرطيسية، هي اضطراب يطرأ على الفضاء نفسه، وذلك لأن نظرية آينشتاين في الثقالة ليست سوى تعبير عن تشويه الزمكان أصلاً. وبالتالي، فإن أمواج الثقالة يجب أن تظهر على شكل تموج زمكاني ينتشر بعيداً عن منبع الاضطراب.

بعد أن اقترح الفيزيائي البريطاني جيمس مكسويل **(James Maxwell)** في القرن التاسع عشر، وعلى أساس تحليل رياضي للقوى الكهربائية والمغناطيسية، إمكانية توليد الأمواج الكهرطيسية عن طريق تسريع الشحنات الكهربائية، بُذل الكثير من الجهد من أجل توليد هذه الأمواج في المخابر وكشفها، وظهرت نتيجة رياضيات مكسويل بعدئذ على شكل الراديو والتلفزيون والاتصالات اللاسلكية التي نعرفها اليوم. وبالقياس على ذلك، قد تبدو أمواج الثقالة على درجة من الأهمية توازي أهمية الأمواج الكهرطيسية. لكن الثقالة، لسوء الحظ، قوة ضعيفة جداً بحيث يلزم أن تكون موجاتها ذات طاقة عالية للغاية لكي يكون لها أثر قابل للكشف بواسطة التكنولوجيا المعاصرة. إنه يلزم حدوث اضطراب هائل في جرم سماوي غاية في الضخامة لكي يُصدر أمواج ثقالة محسوسة؛ فلو تفجرت الشمس أو سقطت في ثقب أسود مثلاً، لاستطعنا بالتكنولوجيا الحديثة تسجيل

اضطرابات الثقالة، في حين أن أحداثاً أعنف من ذلك بكثير تقع في أي مكان آخر من مجرتنا، لا تتجاوز عتبة إمكانياتنا في كشفها.

تعمل كواشف أمواج الثقالة على أساس مبدأ بسيط جداً: فعندما تجتاح الموجات الزمكانية المختبر تأخذ جميع الأجسام فيه بالاهتزاز. إن أمواج الثقالة تؤدي إلى امتطاط وانكماش الزمكان بشكل متناوب في منحى معين، ولذلك تمتط وتتقلص كل الأجسام الموجودة في طريقها بمقدار ضئيل، الأمر الذي يعني إمكانية حدوث اهتزازات طنينية في قضبان معدنية أو في بلورات نقية جداً، إذا كان لها الشكل والحجم المناسبان. تُعلق هذه الأجسام بشكل تكون فيها مقاومة الاحتكاك شبه معدومة وتُعزل عن جميع الاضطرابات الأخرى كتلك الناجمة عن الهزات الأرضية أو حركة السيارات، ومن ارتجاجاتها الضعيفة يسعى الفيزيائيون إلى كشف مرور الإشعاع الثقالي. إن التقنية المتبعة في هذا الشأن تستخدم قضباناً مصنوعة من بلورات الياقوت الصافي بحجم ذراع الإنسان، وكواشف ارتعاش هذا القضيب حساسة لدرجة أنها تكفي لتسجيل حركة فيه لا تتجاوز في مداها قطر الذرة.

وعلى الرغم من تلك الدقة البالغة التي أمكن تحصيلها تكنولوجياً، لم يتم حتى الآن كشف أمواج الثقالة على الأرض بشكل مرض. لكن بعض الفلكيين اكتشفوا في عام ١٩٧٤ جرماً سماوياً من نوع غريب أتاح لهم فرصة التقاط موجات ثقالية. إنه الجرم الذي ذكرناه في الفصل الثاني ودعوناه النباض المثنى؛ فالفلكيون يستطيعون كشف أدق تفاصيل الاضطرابات التي تحصل في مداره من خلال رصدهم للأمواج الراديوية الواردة منه، وتحليل تلك الاضطرابات يشير، وإن كان بشكل غير مباشر، إلى صدور أمواج ثقالية ضعيفة جداً من هذا الجرم تنشأ عن اضطرابات طفيفة في مداره. والتحليل يأتي كالتالي: بما أن موجات الثقالة تحمل طاقة وتبتعد عن النباض المثنى، فإن على هذا الجسم أن يعوض تلك الطاقة على حساب مداري النجمين المؤلفين له، وهذا ينعكس على شكل تباطؤ طفيف في المدارين. إنه هذا هو الأثر الذي لاحظه الفلكيون واستدلوا منه على وجود إشعاع لأمواج الثقالة، والأمر هنا يشبه مراقبة عداد الكهرباء عندما تشغل جهاز الإرسال الراديوي: فأنت لا تشعر بصدور الأمواج الراديوية مباشرة بل بمفعول ثانوي مرتبط بها.

لقد أسهبنا بعض الشيء في موضوع موجات الثقالة، وما ذلك إلا لأن نظيراتها ـــ الأمواج الكهرطيسية ـــ كانت نقطة البداية في نظرية الكم. وكما ذكرنا في الفصل الأول، اكتشف ماكس

بلانك أن صدور الإشعاع الكهرطيسي وامتصاصه لا يمكن أن يحدثا إلا على شكل كموم منفصلة تدعى الفوتونات. لذلك، وبالقياس، يُتوقع أن تتصرف موجات الثقالة بنفس الأسلوب وأن تظهر على شكل كموم منفصلة. يؤيد الفيزيائيون بقوة فكرة كموم الثقالة، وهم يدعونها بالغرافيتونات، لسبب أقوى من مجرد القياس على كموم الكهرطيسية؛ ذلك أن جميع الحقول الأخرى تمتلك خاصة الكم، ولو كانت الثقالة تشذ عن هذه القاعدة، لأصبح بالإمكان خرق قواعد الكم بجعل تلك الحقول الأخرى تتفاعل مع الثقالة.

إذا افترضنا وجود الغرافيتونات، فعليها أن تخضع لمبدأ الارتياب كغيرها من مظاهر الكم الأخرى. فمثلاً، لن يكون ممكناً لنا أن نتحدث عن إشعاع غرافيتون ما أو امتصاصه إلا على أساس احتمالي فقط. إن مغزى هذا يتجلى في أن وجود الغرافيتون يمثل تقريباً جعدة صغيرة للزمكان، وبالتالي يعود الارتياب في وجود الغرافيتون أو عدمه إلى ارتياب في شكل المكان ومدة الزمان. من هذا ينتج أنه ليس المادة فقط هي التي تخضع للاضطرابات العشوائية، وإنما الزمكان نفسه يخضع لهذه الاضطرابات، وبذلك يكون أحد المشاركين الأساسيين في المسرحية الكونية بدلاً من أن يكون مجرد خشبة مسرح تدور فوقها الأحداث.

قد يكون مروعاً أن يتخذ الفضاء الذي نعيش فيه خصائص هلام مرتجف، لكننا لا نلاحظ شيئاً من ضوضاء الكم في حياتنا اليومية. حتى التجارب المخبرية البالغة التعقيد على الصعيد الذري، لم تستطع تسجيل أي اضطراب في الزمكان داخل الذرة. إن التحليل الرياضي يري أنه من غير المتوقع مصادفة مثل هذه الاضطرابات وكشفها، فالثقالة قوة ضعيفة للغاية (بالمقارنة مع القوى الكهرطيسية والنووية) إلى درجة لا يمكن عندها لتشوه الزمكان أن يكون محسوساً إلا إذا كان هناك تركيز هائل لطاقة الثقالة. فكامل كتلة الشمس، مثلاً، لا تشوه من صورة النجوم البعيدة إلا بمقدار لا يكاد يتجاوز حدود إمكانياتنا في كشفه. لكن على الصعيد دون الذري، يمكن أن يحصل تركيز هائل مؤقت للطاقة والكتلة وذلك عن طريق اقتراض الطاقة بفضل آلية مبدأ هايزنبرغ. فمن أجل إحداث أثر ملحوظ في الزمكان، يجب أن يكون مقدار القرض كبيراً للغاية كي نستطيع فعلاً التقاط هذه الطاقة في الفضاء. لكن مبدأ هايزنبرغ يستدعي تقصير أجل القرض كلما ازداد مقدار الطاقة المقترضة، ولما كانت الثقالة ضعيفة نسبياً وبالتالي مقدار الطاقة اللازمة كبيراً، فلا بد أن يكون أجل القرض قصيراً جداً. إن الحسابات تدل على أن هذا الأجل يساوي أصغر وحدة زمنية ممكنة في الوجود ذات مغزى فيزيائي. وهذا الزمن، الذي قد ندعوه لمحة (jiffy)، يساوي ثانية واحدة

مقسومة على واحد إلى يمينه ثلاثة واربعون صفرا (ويكتب ١٠^٤٣ ثانية زمنية). إن اللمحة صغيرة جداً لدرجة أن الضوء لا يقطع خلالها سوى جزء واحد من مليون مليار مليار مليار من السنتمتر، وهذه مسافة تعادل جزءاً واحداً من مئة مليون مليار من قطر نواة الذرة. فليس عجباً إذن أن لا نلاحظ مثل هذه الاضطرابات الكمومية الزمكانية في حياتنا اليومية أو حتى في تجاربنا المخبرية.

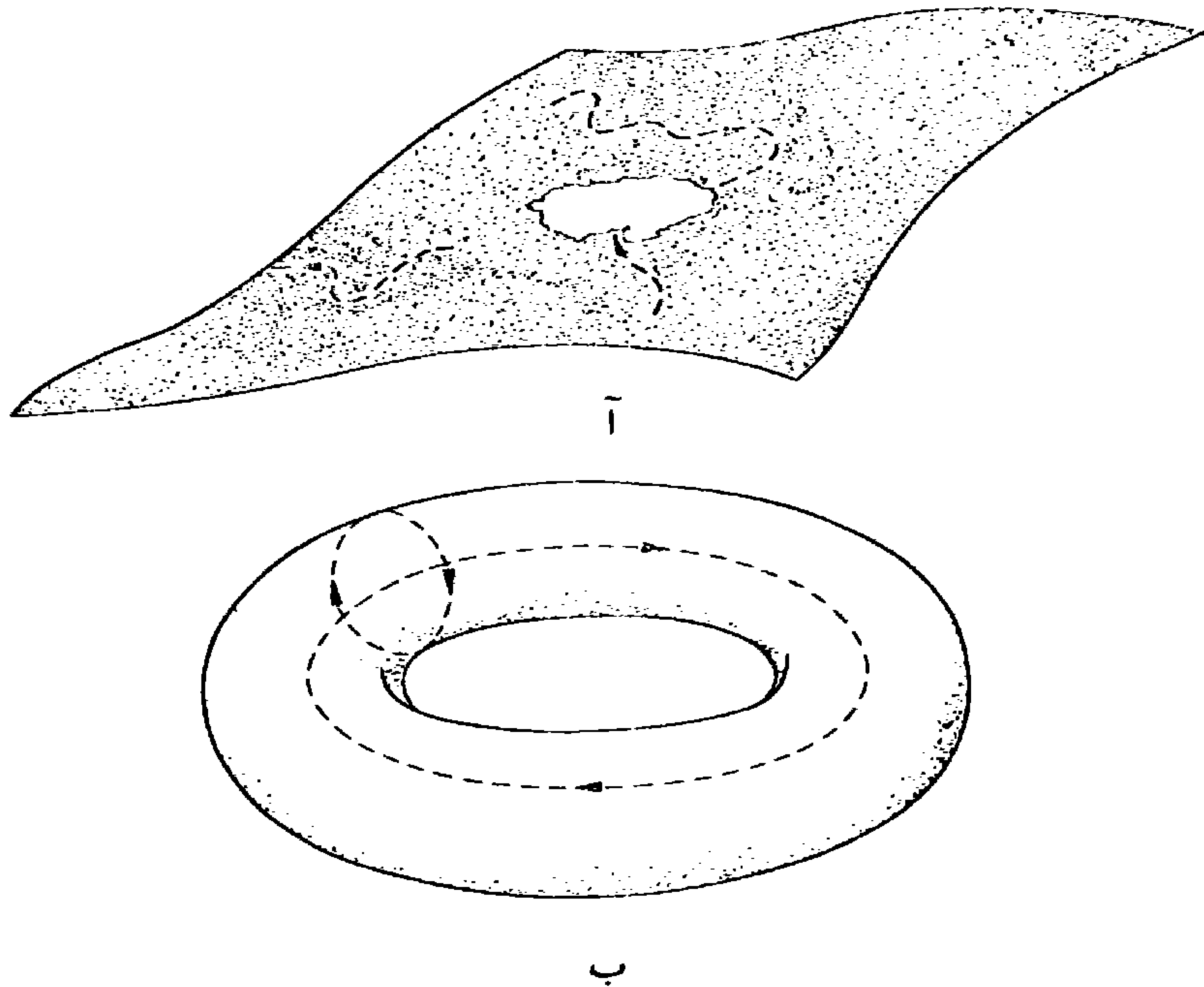
لكن وعلى الرغم من أن هذا الكم الزمكاني يبدو، بسبب صغره، أصعب على تصوراتنا من تصور الفضاء الكوني في مداه اللامتناهي، إلا أن وجود آثاره يقود إلى نتائج عجيبة. يُشَبَّه الزمكان عادة بقطعة نسيج تنطبع عليها أحداث وفعاليات الكون، وقد بَيَّن آينشتاين أن هذا النسيج يتحرك ويتموج ويتشوه كأنه الكائن الحي. وتقول نظرية الكم إننا إذا تفحصنا سطح هذا النسيج بواسطة مجهر عظيم التجسيم، فلن نراه منتظماً ناعماً، بل ذا بنية حبيبية خشنة صنعتها كما اتفق تشوهات كمومية في مصنع الزمكان.

وفي سُلَّم اللمحة الزمني، تبدو الصورة أكثر غرابة. فالتشوهات والأورام تتطور وتلتف على نفسها وتتلاقى في نشاط محموم لتشكل شبكة من الجسور والأخاديد المتداخلة المعقدة. لقد وصف جون ويلر (John Wheeler)، وهو كبير مهندسي عالم اللمحات، هذه الحالة بأنها مشابهة لحالة طيار يحلق فوق المحيط: على ارتفاع عال، لا يستطيع تمييز تفاصيل سطح البحر الخشنة بل يراه مستوياً أملسَ متجانساً، لكنه عند انخفاضه يبدأ بملاحظة الأمواج ذات الارتفاع الكبير، ويستدل من وجودها عندئذ على وجود اضطرابات في مياه المحيط؛ وبالانخفاض أكثر والاقتراب من سطح الماء، يلاحظ الطيار اضطرابات السطح بوضوح، وأخيراً وبإمعان النظر من خلال المنظار، يكتشف أن مويجات الماء مشوهة إلى درجة تستحيل فيها إلى زبد وفقاقيع. إن السطح الذي يبدو ناعماً أملس من العلو المرتفع، ما هو إلا كتلة من الرغوة والفقاعات الصاخبة، ومثلها هي جسور وأخاديد عالم اللمحة.

تدل هذه الأوصاف على أن الفضاء ليس متجانساً أملسَ عديم الخصائص المميزة، كما قد يبدو لنا. ففي سلم المسافات والأزمنة الصغيرة في عالم اللمحة يبدو الفضاء متاهة معقدة من الثقوب والأنفاق والجسور التي تنشأ وتختفي في نشاط دائم دؤوب لا يعرف الكلل أو الملل. قبل ظهور هذه الأفكار، كان الفيزيائيون يعتقدون أن لكل من الزمان والمكان طبيعة مستمرة متواصلة لا حدود للصغر في تجزئتها، الأمر الذي أتت الثقالة الكمومية لتنفيه. إن نسيج عالمنا ليس فقط ذا

خيوط منفصلة، بل هو أيضاً ذو طبيعة رغوية اسفنجية، وهذا ما يدل على أنه لا يمكن تجزئة المسافات المكانية والمدد الزمنية بلا حدود.

إن كثيراً من الغموض يحوم حول ما أسميناه ثقوباً أو أخاديد في النسيج الزمكاني. فالمفروض أن تكون كلمة فضاء مرادفة لكلمة خلاء. فكيف يمكن أن توجد ثقوب فيما هو خال في الأصل؟ للإجابة عن هذا السؤال، قد يكون من المفيد أن نستبدل بأخاديد عالم جون ويلر ثقوباً في الزمكان ذات حجم كبير بحيث تكون محسوسة لنا في حياتنا العادية؛ لنفترض وجود حفرة في المكان في وسط ميدان بيكاديللي في لندن. إن السائح غير المدرك لوجود هذا الثقب سوف يقع فيه فجأة إلى غير رجعة. عندئذ لن نستطيع أن نقول ماذا سيحصل له في الثقب، لأن قوانين الطبيعة لا تنطبق



شكل ١٠: ثقوب في الفضاء:

يتم تمثيل الفضاء هنا بسطح يتجول فيه مستطلع فضولي على مسار مبين بالخط المقطع. في آ، يسقط المستطلع من على حافة العالم أو يهوي في الثقب. وفي ب، يمكن للمستطلع أن يجوب كامل الكون دون أن يضطر إلى مغادرة الفضاء: فليس لهذا السطح من حدود، على الرغم من محدودية حجمه ومن وجود ثقب في وسطه.

إلا على العالم الذي نتحسسه، أي على الزمان والمكان، ولا تنطبق على ما هو خارج حدودهما. وعلى نحو مماثل، لا يمكن التنبؤ بما يمكن أن يأتي من ذلك الثقب، حتى ولو كان ضوءاً. وبالتالي، وإذا لم يكن هناك شيء يستطيع الظهور من الثقب، فإنه سوف يبدو لنا ببساطة مجرد فجوة سوداء.

ليس هناك من سبب معين يمنع عالمنا من أن يكون مليئاً بالثقوب والحواف أو خالياً منها. والدراسات المعمقة في أحد حقول الرياضيات المعروف بالطبولوجيا، وهو علم يهتم بالبنى والخصائص العامة، تبين أنه ليس من الضروري للثقوب أن تؤدي حتماً إلى اختفاء مفاجئ للأشياء من الزمكان. لتوضيح الفكرة يمكن مقارنة المكان بسطح ثنائي الأبعاد كقطعة النسيج، كما فعلنا سابقاً. يُري الشكل ١٠ إمكانيتين للثقوب في المكان. ففي الشكل ١٠ ــ آ، هناك ثقب في وسط السطح وحواف على أطرافه، بينما يمثل الخط المنقط مسار مستكشف يجوب أرجاء ذلك العالم ثم يهوي في الثقب أو على إحدى الحواف ليختفي إلى غير رجعة. في الشكل ١٠ ــ ب يتحدب الشكل الثنائي الأبعاد على نفسه ليشكل ما يشبه السوار. من الواضح، أن السوار يحتوي على ثقب في وسطه، لكنه ثقب مختلف عن ثقب السطح السابق. وبشكل خاص، ليس للسوار حافة محددة، لا بجوار الثقب ولا على أطرافه الخارجية، ولذلك فإن المستكشف الذي يستطلع أرجاء هذا العالم لا يخشى السقوط في الثقب أو الانزلاق من حافة السوار: إنه مكان مغلق عديم الحواف، وهو الأقرب إلى تصورات الفيزيائيين لفقاقيع عالم اللمحات.

هناك احتمال كبير لأنْ يكون شكل الكون بكامله من شكل السوار، وعندها لا يمتد المكان ويتسع بلاتناه، وإنما يلتف ويتحدب على نفسه. وقد لا يكون هناك ثقب في الوسط، وعندها يكون شكله أقرب إلى الكرة؛ لكن المستكشف يستطيع، من حيث المبدأ وفي كلتا الحالتين، أن يجوب أرجاءه كافة ليعود إلى النقطة التي انطلق منها لكن من اتجاه مخالف للاتجاه الذي خرج فيه، كما يحصل للطائرة التي تترك لندن إلى موسكو ثم تعود إلى لندن عن طريق نيويورك.

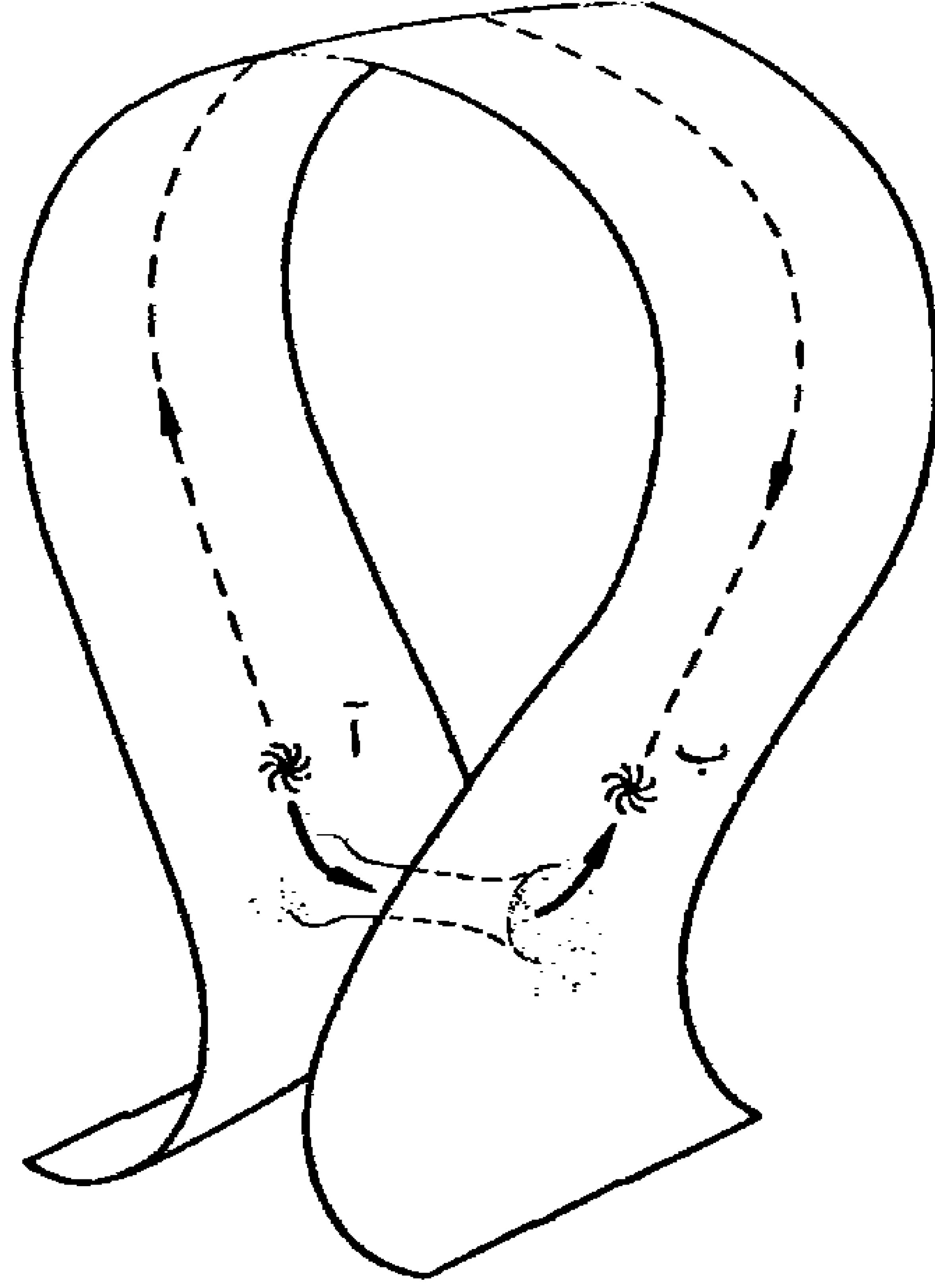
قد تكون طبولوجيا الكون أكثر تعقيداً من كل من السوار أو الكرة البسيطين، وقد تحتوي على شبكة كاملة من الأنفاق والجسور، كقطعة الجبن السويسري (وهو نوع من الجبن الحاوي على فراغات كثيرة بداخله) التي تمثل مادتها الزمكان وتحيله ثقوبها إلى شكل بالغ التعقيد. يضاف إلى ذلك، أن الزمكان ذاته في حالة اتساع مضطرد يجعل كلاً من الزمان والمكان يرتبطان معاً على نحو غريب. لقد وجد كتاب قصص الخيال العلمي مادة خصبة في متاهة جسور الزمكان التي تتيح للمرء أن يجوب أرجاءه عبر مسارات مختلفة، كل منها يبدو للعيان وكأنه طريق مستقيم. لقد تخيلوا

إمكانية الانتقال المباشر من مجرة إلى أخرى بعيدة عنها عبر أنفاق الزمكان دون الحاجة إلى قطع المسافات الهائلة التي تفصل بينهما. يبين الشكل ١١ مثالاً على ذلك، حيث يتم تمثيل الزمكان بشريحة نسيجية جُمع طرفاها في موضع معين يحتوي على النفق. ليس هناك للأسف من دليل قاطع على أن هذا هو تركيب الكون الحقيقي، لكن ما من دليل أيضاً على أن الأمر ليس كذلك. من حيث المبدأ، يجب أن تكون مراصدنا قادرة على كشف شكل الكون، إلا أنه ما زال من الصعب حالياً عزل الآثار التي تدل على ذلك عن التشوهات الأكبر ذات المصادر الأخرى.

يمكن أن يخطر على البال، في سلسلة الافتراضات هذه، ما هو أغرب من ذلك. فعندما يتلاقى طرفا الشريحة (الفضائية) المفترضة، يمكن أن يكون قد حصل فتل فيها على نحو مشابه لعصابة موبيوس (Mobius) الشهيرة، كما في الشكل ١٢. في هذه الحالة، يصبح من غير الممكن تمييز اليمين عن اليسار، والسائح الكوني قد يعود من جولته في الكون مقلوب الصورة، حيث يتبادل يمينه ويساره موضعيهما، تماماً كما يحصل لخياله في المرآة.

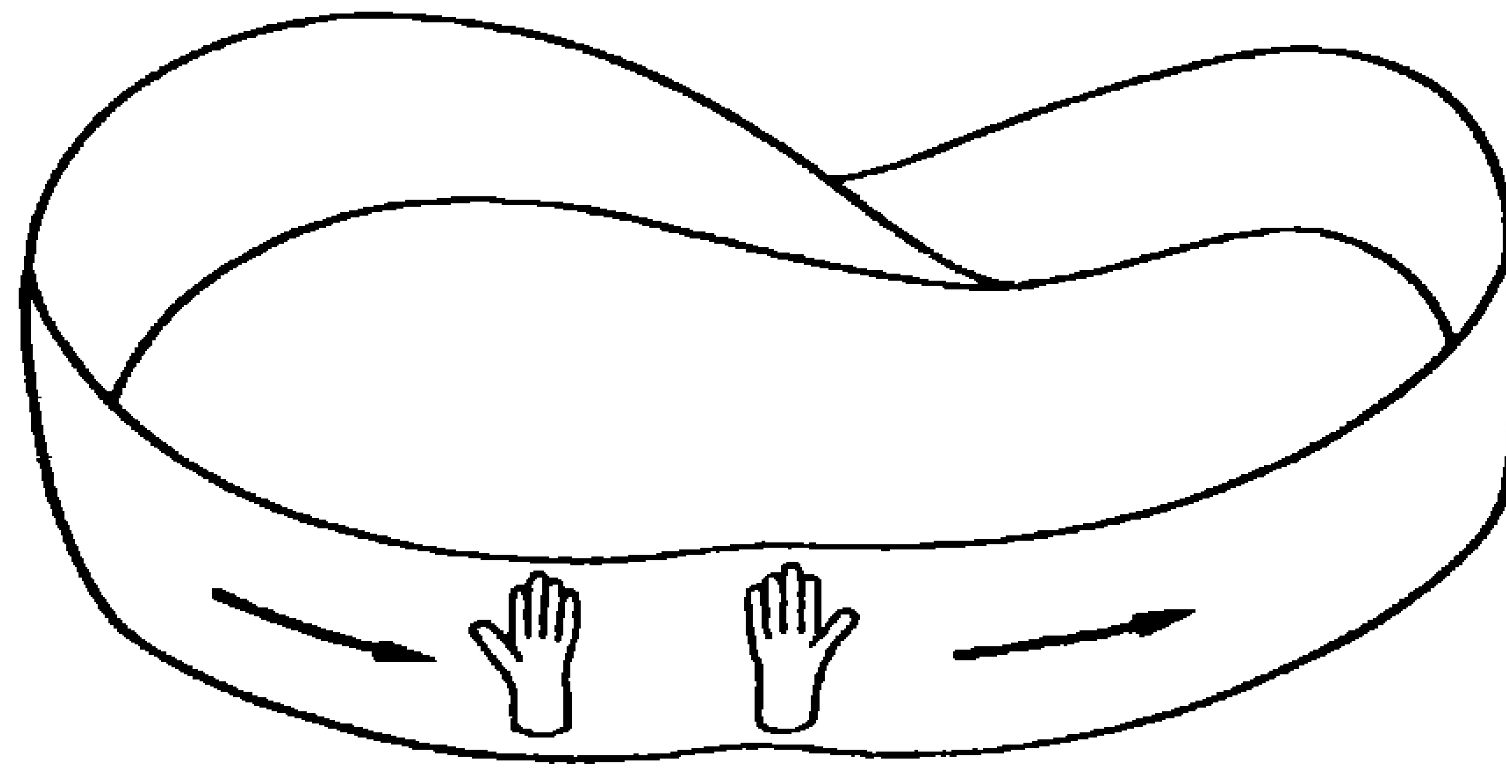
إن إحدى النقاط الهامة التي علينا استيعابها هنا هي أن جميع هذه المظاهر البراقة واللامألوفة للفضاء يمكن أن تُستنتج من قبل سكانه على أساس من مشاهدات تتم من داخله بالذات. فكما أنه ليس من الضروري لنا أن نغادر الأرض لكي نستنتج أنها كروية ومحدودة، فإنه لا يلزم أن نخرج من السوار لكي نكتشف وجود الثقب في وسطه. إن للثقب آثاراً على الفضاء لا تتعلق إطلاقاً بما يمكن أن يوجد ضمن الثقب أو خارج السوار. وبالتالي، فإن اعتبار الفضاء على أنه مليء بالثقوب لا يتطلب منا أن نحدد ماهيتها الفيزيائية، لأنها خارج عالمنا الفيزيائي وطبيعتها لا تتعلق بالفيزياء التي ندركها.

وتماماً كما يمكن أن يكون هناك ثقوب في الفضاء المكاني، يمكن أن توجد ثقوب في الزمان. إن الانقطاع الحاد (أي الثقب) في الزمن قد يتجلى تقديراً على شكل توقف مفاجئ للكون، لذلك فإن الإمكانية الأكثر دقة وإحكاماً هي أن يكون الزمن مغلقاً على نفسه كسطح الكرة أو السوار. إن إحدى الطرق الجيدة لتصور الزمن المغلق هي أن نمثله بخط تمثل كل نقطة فيه لحظة معينة من لحظات الزمن. في الحس العام، يمتد هذا الخط بالاتجاهين بلا تناه، لكن، وكما سنرى فيما بعد، قد يكون له نهاية واحدة أو اثنتين، ممثلتين لبداية الزمن أو نهايته. وقد يكون الخط بلا نهايات، وفي نفس الوقت محدداً في الطول، وذلك كمحيط الدائرة. فإذا كان الأمر كذلك، لا بد أن يكون



شكل ١١: نفق فضائيٌ:

يوفر الانتقال من المجرة آ إلى المجرة ب عبر النفق عناء السفر على المسار الطويل الممتد في الفضاء الكوني ما بين المجرات (الخط المقطع).



شكل ١٢: عصابة موبيوس:

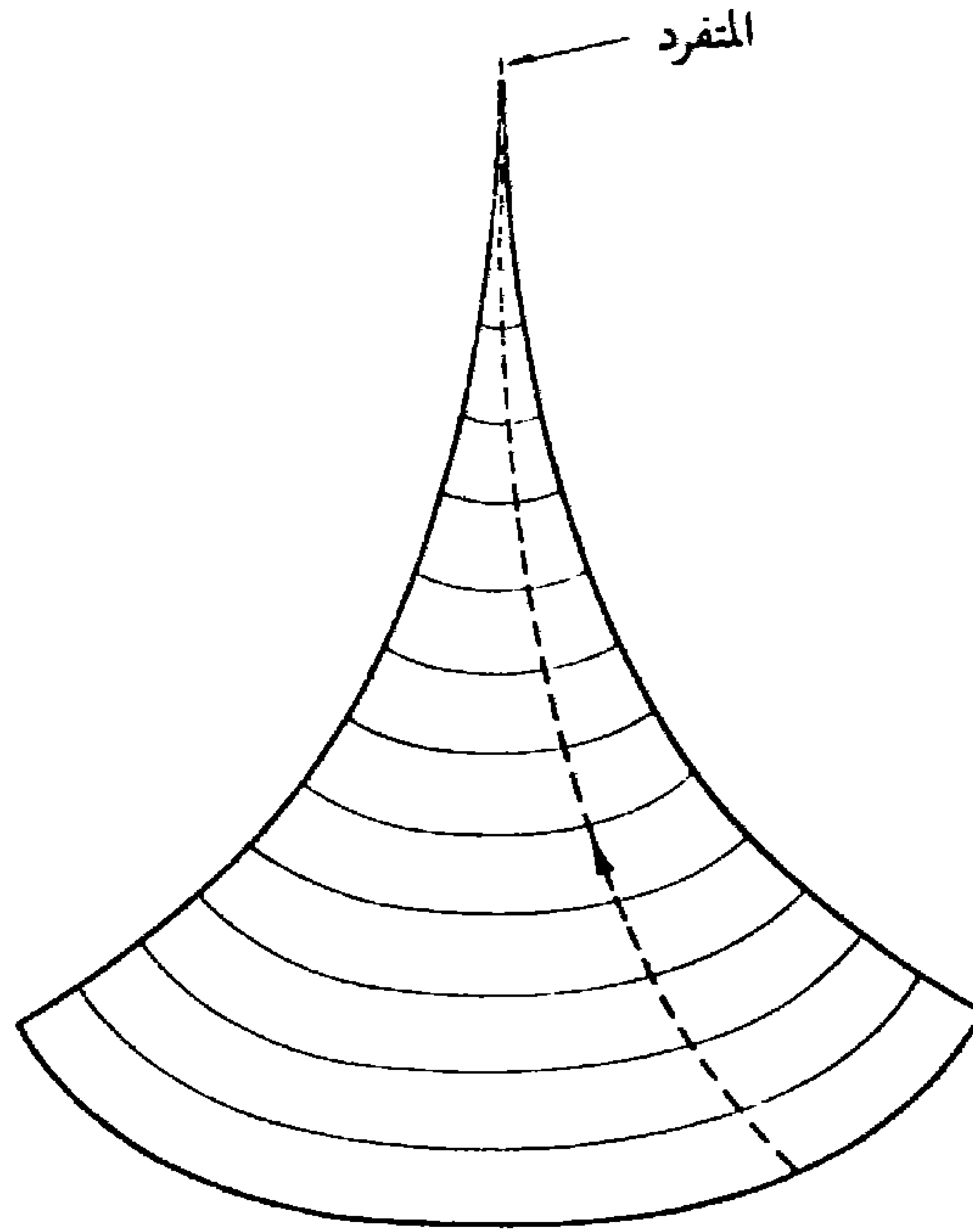
تتمتع عصابة موبيوس بخاصة غريبة وهي أن راحة اليد اليمنى تنقلب إلى راحة يد يسرى عند دورانها مرة واحدة على طول العصابة (ليس في هذه العصابة تمييز بين وجه أمامي و وجه خلفي؛ إنها سطح ذو وجه واحد).

بالإمكان تحديد عدد الساعات التي تؤلف الزمن بكامله. إنه غالباً ما يتم وصف الزمن المغلق بالقول إن الكون دوري، بمعنى أن كل حدث يكرر نفسه عدداً لا نهائياً من المرات. إلا أن هذه الصورة تفترض مسبقاً أمراً مشكوكاً فيه، وهو تدفق الزمن الذي يجتاحنا المرة تلو الأخرى بلا تناه. يضاف إلى هذا أنه ليس هناك من وسيلة نستطيع أن نميز بها حلقات الزمن بعضاً عن بعض، ولذلك يكون من غير الصحيح أن نصف هذا الترتيب بأنه دوري بالمعنى الحرفي للكلمة.

في العالم ذي الزمن المغلق، يمكن للماضي أن يكون مستقبلاً أيضاً، الأمر الذي يفتح الباب أمام الفوضى في قانون السببية والمفارقات الزمنية التي يشير إليها كتّاب روايات الخيال العلمي. والأسوأ من ذلك، هو أنه إذا كان الزمن ينغلق على نفسه على نحو مشابه للعصابة المفتولة في الشكل ١٢، يصبح من غير الممكن تمييز الأمام من الخلف في الزمن، بالضبط كما لا يمكن تمييز اليمين عن اليسار في الفضاء الممثل بتلك العصابة. في الواقع، ليس واضحاً ما إذا كان بإمكاننا ملاحظة مثل هذه الخصائص الغريبة في الزمن، وربما أدمغتنا هي التي تتجاهل مثل هذه البهلوانيات الزمنية في محاولة لجعل حياتنا وممارساتنا اليومية ذات مغزى.

على الرغم من أن الحواف والثقوب في الزمان والمكان قد تكون مجرد ترهات يتفتق عنها جنون الرياضيين، فإن الفيزيائيين يأخذونها على محمل الجد ويعتقدون أن مثل هذه البنى قد تكون موجودة بالفعل. إنه ليس هناك من دليل على وجود الشقوق في الزمكان، إلا أن هناك افتراضاً قوياً حول إمكانية تمزق الزمان أو المكان وظهور حواف فيهما ذات حدود. عندئذ، وبدلاً من الانزلاق على نحو غير متوقع على حافة الوجود، سيملأ الخوف أفئدتنا من النهاية المأساوية الانتحارية التي تنتظرنا. بالعودة إلى الشكل ١٠ ـــ آ، يتضح أن الثقب الذي يمثل مجرد قطع بسيط في المكان، يبدأ فجأة ودون سابق إنذار ينبه المستطلع الفضولي من النهاية المحتومة. كذلك الأمر بالنسبة لثقوب الزمن، إذ لا يوجد فيها ما يمنع زوال الكون بالكامل أو زوال جزء منه. إن فيزياءنا، وإن كانت لا تستطيع إثبات أو نفي وجود تلك الحواف والثقوب، تستطيع التنبؤ بإمكانية ظهورها في الزمكان بناء على أسس فيزيائية محكمة يقبل بها معظم الفيزيائيين.

يبين الشكل ١٣ محاولة في فضاء ذي بعدين لتمثيل ما يمكن أن يكون حافة في المكان: الثقب ذو الأسنان. إن لهذا السطح شكلاً شبه مخروطي يضيق ويستدق تدريجياً (كالخازوق) إلى نقطة النهاية الحادة المدببة بلا تناه بحيث لا يمكن لشيء أن يتسلق السطح نحوها ثم



شكل ١٣: ثقب ذو أسنان:

ينحني الفضاء (السطح) أكثر فأكثر بشكل تدريجي إلى أن يتلاشى نهائياً عند القمة (النقطة الشاذة: نقطة التفرد). هنا، سيتعرض المستطلع الفضولي (الخط المقطع) الذي يتجول بالقرب من القمة إلى خطر الاختفاء التام من الوجود، حيث لايمكنه أن يعود على الإطلاق. على أي حال، لن يكون اختفاؤه بلا إنذار، ذلك أنه سيشعر بالانهراس العنيف الذي يتزايد كلما اقترب من نقطة تلاشي الفضاء.

ينقلب فوقها لينزل من الطرف الآخر. فلدى اقتراب جسم من تلك النهاية الحادة، يبدأ بالشعور بعدم الارتياح بسبب الضغط الذي يتعرض له تحت تأثير التقوس المتنامي والحجم المتلاشي بلا حدود. وبالقرب من القمة، ينهرس الجسم أكثر فأكثر، ولا يصل القمة ذاتها إلا بعد أن يكون قد سُحق من الوجود كلية: ينضغط إلى لا شيء، لأن القمة لا حجم لها. إن الثمن الذي يجب دفعه لزيارة مثل تلك القمة هو خروج الجسم من الوجود بالكامل... إلى غير رجعة.

لقد كانت نظرية النسبية لآينشتاين هي التي تنبأت بهذه الحواف الزمكانية ذات القمم الحادة المدببة، والتي تعرف في الرياضيات باسم المتفردات (Singularities). والتقوس المتنامي

بلا حدود بالقرب من تلك النقاط يمثل في الواقع الفيزيائي قوى الثقالة التي ترص كل الأجسام الموجودة فيها ، وتحيلها إلى حجم متناقص باضطراد . إن إحدى الحالات التي يمكن فيها لهذه الظاهرة أن تحصل هي انهيار نجم تحت تأثير قوى الثقالة للمادة فيه بعد نفاذ وقوده . فلدى نفاذ الوقود ، يفقد النجم حرارته ، ويصبح عاجزاً عن الاحتفاظ بضغط داخلي يتيح له أن يتحمل وزنه الخاص ، فيأخذ بالتقلص والانكماش . وفي النجوم الكبيرة ، يكون الانكماش سريعاً وعلى شكل انفجار مفاجئ نحو الداخل (انقباض) ، مما قد يحيل النجم إلى ما يشبه العدم . عندها يتشكل متفرد زمكاني قد يبتلع معظم مادة النجم إن لم نقل كلها . حتى ولو لم يختفِ النجم بكامله في هذه النقطة ، فإن المراقب الفضولي الذي يصر على متابعة الأمر سينزلق فيه إلى لا عودة . إن الاعتقاد السائد هو أنه إذا تشكل متفرد زمكاني ، فإنه سيكون داخل ثقب أسود حيث لا يمكن لامرئ أن يراه دون أن يسقط فيه ويغادر بالتالي الكون برمته .

ربما كان متفرد من نوع آخر قد تشكل لدى ولادة هذا الكون ، فالعديد من الفلكيين يعتقدون أن الانفجار الأعظم يمثل الشظايا التي انبثقت من متفرد كان ــ بكل معنى الكلمة ــ بدء خلق هذا العالم . وربما كانت لحظة الماضي السحيق الذي حدث فيه ذلك الانفجار الأعظم هي حافة الكون : بدء الزمان وبدء المكان على حد سواء ، إضافة إلى أصل كل مادة . وعلى غرار ذلك ، قد توجد حافة للزمن في المستقبل ، يزول عندها الكون ، بمكانه وزمانه ، إلى غير رجعة .

بعد أن أسهبنا في سرد أغرب السمات التي تسمح الفيزياء الحديثة للزمان والمكان أن يتسما بها ، قد يكون من المجدي أن نعود إلى مدينة اللمحات وإلى مفاهيم الكم في محاولة لفهم المعنى الفعلي لتلك البنية المزبدة في أعماقها . لقد رأينا في الفصلين الأول والثالث أن الالكترونات وسواها من عالم الصغائر لا تتخذ طريقها من نقطة آ إلى أخرى ب على نحو مباشر وبسيط . بدلاً من ذلك ، وجدنا أن حركتها محكومة بموجة تنتشر لتجتاح مواضع قد تكون على بعد كبير من المسار المستقيم . ليست الموجة هنا شيئاً مادياً ، بل هي موجة احتمال : فحيث يكون الاضطراب ضعيفاً (وهذا يكون في المواضع البعيدة عن الخط المستقيم) يكون احتمال وجود الجسيم ضئيلاً . إن معظم حركة الموجة يتجمع في الجوار القريب جداً من المسار النيوتني التقليدي الذي يمثل بالتالي المسار الأكثر احتمالاً . ومن أجل الأجسام المحسوسة ، ككرات البلياردو مثلاً ، تزداد كثافة هذا التجمع إلى درجة جد كبيرة تحول دون شعورنا بأمواج الاحتمال هذه .

إذا أطلقنا حزمة من الالكترونات (أو حتى الكتروناً واحداً بمفرده) من مدفع الكتروني، يمكننا التعبير رياضياً عن حركة موجاتها باستخدام معادلة شرودنغر الشهيرة. فمن هذه المعادلة يتبين أن تلك الحزمة تتمتع بكل خصائص التداخل الموجي، وقد أتينا على تفصيل ذلك مسبقاً. فمثلاً إذا صادفت الموجة جداراً ذا شقين، فإنها تعبرهما معاً وتعود بعد الاضطراب المتمثل بانقسامها إلى التلاحم على شكل تداخل ذي قمم و وديان. إن الموجة لا تمثل عالماً واحداً، وإنما عدداً لا نهائياً من العوالم التي يقترن كل منها بمسار مختلف، وهذه العوالم ليست جميعاً مستقلة عن بعضها، فظاهرة التداخل تُري أنها تتراكب معاً، ويعترض بعضها بعضاً. إن القياس المباشر وحده هو الذي يستطيع أن يُري أياً من هذه العوالم المحتملة التي لا حصر لها هو العالم الحقيقي. وهنا تظهر مسألة حساسة وجوهرية حول ما تعنيه كلمة حقيقي بالفعل وحول ماهية عملية القياس بالضبط. سوف نؤجل مناقشة هذه المسألة إلى الفصول القادمة، مع التأكيد هنا على أنه عندما يرغب الفيزيائي بوصف الكيفية التي يتحرك بها الالكترون، أو بشكل عام كيفية تغير العالم، فإنه ينظر إلى الموجة ويقوم بمعاينة حركتها. إن الموجة هي التي تحمل كل المعلومات عن سلوك الالكترون وتصرفه.

لو تصورنا الآن العوالم المحتملة جمعياً ــ وليكن ذلك بتمثيل كل منها بمسار لالكترون ــ على شكل عالم عملاق أشمل كثير الأبعاد ويحتوي على جميع الخيارات المحتملة الوجود بالتوازي وعلى قدم المساواة، نستطيع عندئذ أن نعتبر العالم الذي غدا حقيقياً من خلال رصدنا له، إسقاطاً ثلاثي الأبعاد من ذلك العالم الأشمل أو من جزء منه. سوف نناقش فيما بعد إلى أي مدى يمكن اعتبار هذا العالم الأشمل ذا وجود فعلي، لكن مبدئياً، فإنه يلزم وجود عالم مختلف لكل مسار الكترون، الأمر الذي يعني أنه يلزم عدد لا نهائي من العوالم لالكترونات الكون، ومثل ذلك لكل ذرة ولكل جسيم من عالم الصغائر ولكل فوتون وغرافيتون في الوجود. من الواضح أن هذا العالم الأشمل عالم عظيم جداً بالفعل: عالم مؤلف من عدد لانهائي من العوالم ذات الأبعاد اللامتناهية العدد.

قد يكون من الصعب هضم أو تصديق فكرة أن عالمنا الذي نعيش فيه هو شريحة أو مسقط ثلاثي الأبعاد من عالم أعظم ذي عدد لا نهائي من الأبعاد. لتوضيح الفكرة، نضرب مثلاً متواضعاً: شاشة نستخدمها لإسقاط ظل جسم يضاء بحزمة ضوئية، حيث نرى على الشاشة صورة ذات بعدين، هي في حقيقة الأمر، مسقط لجسم ذي ثلاثة أبعاد. وبتدوير الجسم ليأخذ وضعية جديدة، يتغير شكل المسقط بما يتوافق مع تلك الوضعية. من الواضح أن هناك عدداً لا نهائياً من الأشكال التي يمكن للمسقط أن يأخذها، وذلك تبعاً للعدد اللانهائي للوضعيات التي

يمكن وضع الجسم فيها. إن كلاً من هذه الأشكال ذات البعدين يمثل مسقطاً ثنائي الأبعاد للفضاء الأكبر ذي الثلاثة أبعاد والذي يحتوي على الجسم المعتبر. وعلى نحو مماثل، ليس عالمنا الثلاثي الأبعاد الذي نراه سوى مسقط للعالم العظيم اللانهائي الأبعاد، وما شكله الذي يأخذه إلا مسألة احتمالية بحتة. قد يبدو للوهلة الأولى أن اختصار العالم بسلسلة من الإسقاطات العشوائية دعوة إلى الفوضى تقدم لنا في كل لحظة من لحظات الزمن المتعاقبة مشهداً جديداً، لكن أحجار النرد، على ما يبدو، مثقلة بانحيازها لصالح التغيرات النيوتنية الأكثر انتظاماً، مما يخفي الاضطرابات الصغيرة الدقيقة، والتي هي موجودة دون شك، عن أعيننا لتتوارى في أعماق العالم الصغري معبرة عن نفسها هناك بفعالية عالية.

وتماماً كما أن الجسيم النيوتني يتحرك على نحو يبذل فيه أدنى جهد ممكن، وكما أن الموجة الكمومية تنتشر على نفس المسار ذي الفعالية الأدنى، فإن الأمر هو كذلك بالنسبة للثقالة، حيث نجد أن الفضاء أيضاً ضنين بجهوده. ففي عالم اللمحات، يمكن للزبد الكمومي التفشي بعض الشيء حول مسار الحركة الأصغرية، لكن فقط بتلك الرتبة من الصغر اللامتناهي الذي أتينا على ذكره في المقاطع الأولى من هذا الفصل. لذلك، يجب توصيف الفضاء بلغة الموجة، وعندها سيبدي هذا الفضاء الموجي خصائص التداخل المعهودة أيضاً. وفوق ذلك، وعلى غرار ما يمكننا أن نفعله ببناء عالم خاص لكل مسار الكتروني، يمكننا بناء عالم مختلف من أجل كل هيئة للفضاء. وبضم جميع هذه العوالم كافة معاً، نحصل على الفضاء العظيم ذي العدد اللانهائي من الأبعاد. وفي هذا الفضاء الأشمل تُحتوى الفضاءات الممكنة كافة: السواريات والكرويات وعوالم الثقوب والجسور، كلٌ بترتيب زَبَدي مختلف. وكل فضاء من الفضاء الأشمل، يحتوي على عالمه الشامل لجميع المنظومات الجسيمية الممكنة. وما العالم الذي نستشعره على ما يبدو سوى عنصر وحيد ثلاثي الأبعاد أُسقط من ذلك الفضاء العظيم اللامتناهي بجنون.

لقد ابتعدنا كثيراً عن المفهوم المألوف للزمان والمكان، ولعل من الخير الآن التوقف قليلاً للراحة والتزود؛ فالطريق إلى الفضاء العظيم شاق وصعب، وكل خطوة فيه تتطلب التخلي عن مفاهيم رسخت في الأذهان رسوخ الجبال، والقبول بأخرى غريبة عجيبة تقض المضاجع وتحير العقول. إن معظم الناس ينظرون إلى الزمان والمكان على أنهما حقيقتان بديهيتان مطلقتان، إلى درجة تجعلهم لا يتساءلون عنهما أو عن كنههما، وهم غالباً ما ينظرون إلى المكان على أنه حيز فارغ خال من الخصائص والصفات المميزة. إن أصعب مفهوم يعترضنا هنا هو أن نقبل أن يكون للمكان هيئة:

فالأجسام المادية تأخذ هيئة في الفضاء، أما الفضاء فيبدو لنا كائناً أشبه بالحاوية منه بالجسم المتجسد.

عبر التاريخ، كان هناك مدرستان للفلسفة تهتمان بطبيعة الفضاء (المكان)؛ إحداهما، وكان نيوتن ينتمي إليها، تقول إن الفضاء وسط ذو جوهر مستقل له طبيعته الهندسية ويتمتع بخصائص ميكانيكية. لقد اعتقد نيوتن أن قوة العطالة ليست سوى رد فعل المكان على الجسم المتسارع، وعزا إليه أصل القوة النابذة التي تنشأ أثناء الدوران. وبشكل مماثل، نُسبت للزمن خصائص مشابهة، وما تمثيله بالتيار المتدفق إلا تعبير عن اقترانه بكيان مستقل خاص به.

وعلى النقيض من هذه التصورات، تقول المدرسة الأخرى بأن الزمان والمكان ليسا شيئين على الإطلاق، وإنما هما مجرد علائق تربط بين الأجسام المادية والأحداث. لقد أنكر بعض الفلاسفة من أمثال لا يبنتز وماخ (Leibniz & Mach) فكرة تأثير الفضاء على المادة، وجادلا في أن كل القوى تنجم عن تأثير الأجسام المادية بعضاً في بعض، وادعى ماخ أن القوة النابذة التي نحس بها في أثناء الدوران تنشأ عن الحركة النسبية بيننا وبين المادة المتناثرة في أعماق الكون النائية.

إن الكلام عن المكان والزمان ليس، في رأي هؤلاء، أكثر من تخلص لغوي يتيح لنا أن نصف العلاقات بين الأجسام المادية. فقولنا، مثلاً، إن بين الأرض والقمر حوالي ربع مليون ميل من الفضاء، ليس سوى وسيلة بسيطة للتعبير عن أن المسافة بين الأرض والقمر هي ربع مليون ميل. ولو لم يكن القمر موجوداً أو لم يكن هناك أجسام أخرى أو أشعة ضوئية نعاينها، لكان من المستحيل معرفة مدى امتداد حيز ما من الفراغ. إن قياس المسافات أو الزوايا في الفضاء يتطلب أدوات قياس كالمساطر وقائس المسافات وإشارات الرادار وغيرها من وسائل ذات طبيعة محسوسة. لذلك ينظر للفضاء على أنه ليس له من الجوهر من شيء أكثر مما لمواطنة الشخص في وطنه، فكلاهما مجرد وصف للعلائق بين الأشياء.

ومثل هذه الأفكار تنسحب على مفهوم الزمن أيضاً. هل من الضروري أن يعتبر الزمن شيئاً قائماً بذاته، أم أنه مجرد وسيلة لغوية بسيطة للتعبير عن العلاقة بين الأحداث؟ إن قولنا إن امرأً انتظر حافلة الركوب زمناً طويلاً لا يعني أكثر من أن المدة الفاصلة بين وصوله إلى موقف الحافلة وركوبه فيها كانت مظهراً لتأخير غير مقبول؛ فالمسافة الزمنية ليست في رأي هؤلاء سوى وسيلة لغوية لتسهيل وصف العلاقة بين الأحداث.

عندما نقترب من فكرة الزمكان المتحدب، قد يكون من الأنسب الاستئناس بأفكار المدرسة الأولى التي تنسب للزمان والمكان جوهراً ذا خصائص تميز كلاً منهما. قد لا يكون ذلك ضرورياً من الناحية المنطقية، إلا أنه يساعد على فهم واستيعاب الفكرة. فتصوُّر الفضاء (المكان) على أنه كتلة مطاطية متحركة يضفي صورة حية على ما يمكن أن يعنيه امتطاطه وانحناؤه. إن السمة الأساسية في نظرية النسبية العامة تكمن في أن الزمكان، بنوعيته المرنة، يستطيع أن يتحرك ويغير من شكله، لكن تحت تأثير وجود كل من المادة والطاقة.

ولدى تطبيق مفاهيم نظرية الكم على الزمكان، تزداد الأمور غرابة ويستعصي الفهم، إذ يتزاوج اللامألوف والعجيب في خصائص وبنية الزمكان الدينامي مع اللامألوف والمذهل في مقولات نظرية الكم. إن ميكانيك الكم يتضمن إمكانية وجود أكثر من زمكان واحد، بل وجود عدد لا نهائي من الزمكانات التي لكل منها هيئته وتركيبه الخاص، والتي تتفاعل فيما بينها بالخصائص الموجية المعهودة من تراكب وتداخل. وشدة الموجة تمثل المقياس الذي يعبر عن مدى احتمال تمثيل المكان في إحداها للكون الفعلي الذي يظهر لنا من خلال الملاحظة. وبينما يأخذ المكان في كوننا بالتوسع والتمدد والتغير، كذلك تفعل معظم تلك العوالم الأخرى المحتملة، في حين يأخذ بعضها منحى بعيداً عن المسار الرئيسي، كما يفعل الأطفال في الحديقة التي مثلناها في الشكل ٣ مسبقاً. إن شدة موجة هذه العوالم الطائشة صغيرة للغاية، ولذلك فإن احتمال ملاحظتها فعلاً هو احتمال شبه معدوم.

أمام هذه الأفكار والمفاهيم العجيبة والغريبة عن الفضاء العظيم المؤلف من العدد اللامحدود من العوالم المختلفة المحبوكة مع بعضها بإحكام كنسيج الأمواج، يبدأ إحساسنا بالعالم الذي ندرك من حولنا يضطرب، وكأن ذلك العالم بعيد عنا بسنوات ضوئية عديدة. عندئذ، يأخذ المرء بالتساؤل عن مدى كون الفضاء العظيم حقيقياً. هل تلك العوالم المحتملة الكثيرة موجودة فعلاً، أم أنها مجرد تصورات منبثقة عن معادلات رياضية تدعي تمثيلها للحقيقة؟ ما هو معنى تلك الأمواج الأسطورية التي تحكم المادة والزمكان سواء بسواء، والتي تحدد احتمال وجود كل من تلك العوالم المتعددة؟ ما هو معنى الوجود في خضم هذه المفاهيم التجريدية العجيبة؟ هذه هي بعض الأسئلة التي سوف نتعرض لها فيما يلي، حيث سنجد أن لعبة الحظ الكونية أكثر غرابة وتعقيداً من مجرد دولاب اليانصيب.

٦

طبيعة الحقيقة

لقد تحاشينا في الفصول السابقة، وعن عمد، تأكيد أو نفي المفاهيم الجديدة التي أتت بها نظرية الكم، كفكرة العالم الحقيقي و وجود أمواج المادة أو الفضاء العظيم. أما في هذا الفصل فسوف نتصدى، وعلى نحو مباشر، لهذه الأسئلة الجوهرية ولغيرها مما أتت به ثورة الكم، وسوف نعاين ما إذا كانت هذه المفاهيم تنطبق على الأشياء الموضوعية فعلاً، أم أنها مجرد وسائل رياضية ابتدعها الفيزيائيون لتسهيل معالجة نتائج قياساتهم التي يجرونها على المقادير الفيزيائية ذات الهوية والوجود المحددين.

يجب أن نؤكد منذ البداية أنه لا يوجد أي شكل من الإجماع بين الفيزيائيين ولا حتى بين الفلاسفة، حول وجود الحقيقة أو طبيعتها أو معناها ومغزاها، ولا حول مدى تأثير نظرية الكم فيها. ومع ذلك، فإن هناك مجموعة من المسائل والأحاجي التي تم تقليبها على وجوهها لمدة خمسين سنة خلت تقريباً، وإذا لم يكن قد تم حلها على الوجه المرضي للجميع، فإنها تلقي بعض الضوء على تلك المفاهيم والنوعيات الغريبة التي أتى الكم ليتكلم عنها.

يمكن تلخيص صورة الوجود الحقيقي في مخيلة معظم الناس العاديين بما يلي: العالم مليء بالأشياء كالنجوم والغيوم والأشجار والصخور، وضمن هذه الأشياء هناك المراقبون الواعون كالإنسان (وربما الدلفين أو غيره؟!)، وهذه الأشياء جميعاً موجودة، وبشكل مستقل عما إذا كان هناك من يلاحظها أو يخطط لإجراء قياس عليها. وباختصار، العالم موجود هناك، و وجوده لا يحتاج

للتأكيد من قبل أحد. نحن لا نثير مثل هذا السؤال البديهي في حياتنا العادية، فقمة إفرست ومجرة درب التبانة وُجدا وكانا قبل حتى أن يكون هناك حياة أو إنسان يعي وجودهما أو يعلق عليه، والالكترونات جابت أرجاء الكون منذ ولادته وبصرف النظر عما إذا كان الإنسان سيظهر إلى الوجود أم لا. إن الكون يتحرك تبعاً لقوانين الطبيعة التي اكتشفها العلماء وآمنوا بها غير مستعين بنا أو مكترث بتدخلنا فيه. هذه هي صورة الوجود الحقيقي في الحس العام، وقد يبدو كل ما فيها بديهياً و واضحاً، إلا أننا سوف نهتز ونفاجأ عندما نعلم أنها إنما تقوم على أساس مُعتل غير سليم.

واضح أن العالم الذي نمارسه بالتجربة لا يمكن أن يكون موضوعياً تماماً، لأننا نمارسه بالتفاعل معه. إن ممارسة التجربة تتطلب شيئين اثنين: الراصد والمرصود، والتفاعل بين هذين العنصرين هو الذي يُزوِّد أحاسيسنا بصورة الحقيقة التي نراها. و واضح أيضاً أن صورة هذه الحقيقة لدينا مصبوغة بنموذج العالم في مخيلتنا والذي بنيناه من خلال خبراتنا وممارساتنا السابقة وتدفق مشاعرنا وآمالنا وتطلعاتنا وما شابهها. بكلمات أخرى، نحن لا نمارس في حياتنا اليومية حقيقة موضوعية على الإطلاق، وإنما مزيجاً من الملاحظات الخارجية والرؤى الداخلية المتراكمة في أعماقنا عبر تجاربنا السابقة.

لقد كان الغرض من العلم الفيزيائي هو التخلص من تلك الرؤية الشخصية ونصف الموضوعية للعالم ومحاولة بناء نموذج للحقيقة مستقل عن المؤثرات الكامنة في ذات المراقب، والإجراء التقليدي لتحقيق ذلك يتجلى في التجربة المتكررة واستخدام الآلة في القياس وتوظيف العلاقات الرياضية لتحليل نتائج الرصد (أي القياس). والسؤال الذي يطرح نفسه الآن هو: ما مدى نجاح هذا النموذج الموضوعي الذي قدمه العلم لتمثيل الحقيقة؟ هل باستطاعته فعلاً وصف العالم الموجود بشكل مستقل عن الإنسان الذي يدركه؟.

قبل الخوض في مناقشة مقولات نظرية الكم في هذا المجال، قد يكون من المناسب أن نعود قليلاً إلى الأفكار النيوتنية القديمة وإلى صورة العالم الإيقاعي الرتيب المأهول من قبل مجرد مراقبين آليين لا يملكون من أمرهم وأمر ما حولهم شيئاً، وذلك كي نستقصي مدى نجاح مثل هذا النموذج في تمثيل العالم الموضوعي. لقد رأينا في الفصل الثالث أنه لا يمكن إجراء أي عملية قياس أو رصد دون الاضطرار إلى إدخال شكل من أشكال الاضطراب في الجملة موضوع الاهتمام. فللحصول على معلومات عن الجملة لا بد من انتقال نوع من التأثير منها إلى دماغ المراقب، ربما عبر سلسلة طويلة

ومعقدة من الاجراءات والوسائل المناسبة. إن هذا التأثير يستحث دائماً رد فعل في الجملة تبعاً لقوانين نيوتن في الفعل ورد الفعل الذي يؤدي إلى حدوث اضطراب ولو ضئيل فيها يغير من حالتها. لقد ضربنا مثالاً على ذلك حركة الكواكب في المنظومة الشمسية، والتي تتغير مداراتها، لكن بمقدار ضئيل للغاية، بسبب ضوء الشمس الساقط عليها والذي يُمكّن من رؤيتها. قد يتراءى لبعضهم أن هذه الأفكار تقضي قضاء مبرماً على فكرة أن الكون هو آلة ميكانيكية رتيبة، لكن هذا ليس صحيحاً. فجسم المراقب، بما فيه من دماغ وجملة عصبية وأعضاء حس، ينتمي أولاً وآخراً إلى الكون بالذات، وبالتالي وبالنظر إلى مجمل الكون، بما فيه جسم المراقب، على أنها آلة ميكانيكية واحدة، يقود إلى الحتمية في نتيجة أي عملية قياس. في هذه الصورة النيوتنية، يلعب المراقبون الواعون أدواراً محددة ومرسومة مسبقاً، وهم لا يملكون من وسيلة لتغييرها أو تعديلها. وإضافة إلى ذلك، ليس من الضروري للكون ــ حسب هذه النظرية ــ أن يكون قد لوحظ فعلاً لكي يظهر إلى الوجود. إذ مَن يستطيع أن ينكر أن الخسوف والكسوف قد حصلا، وسوف يحصلان مرات ومرات، دون أن يكون هناك من يراهما؟ إن قوانين نيوتن تمكن من حساب وتحديد سلوك الأجسام كافة من الذرات إلى المجرات، في الماضي السحيق والمستقبل البعيد، والتأكد من نتيجة الحساب بالاعتماد على حفنة متفرقة من الملاحظات والتجارب وعمليات القياس؛ وكل هذا، إن كان يؤدي إلى شيء، فإنما يُعَزِّز الاعتقاد بأن الكون موجود بذاته وهو يحدد سلوكه تلقائياً دون أن تكون به، للاستمرار في مسيرته، حاجة إلى من يراه.

تكمن السمة الأساسية للرؤية النيوتنية للعالم الحقيقي في وجود الأشياء ذات الهوية المحددة والتي يمكن أن يُنسب إليها دائماً صفات أصلية مميزة. فنحن، في حياتنا العادية، لا نجد أي صعوبة في تقبل كرة القدم على أنها كرة قدم ذات وجود محدد وهوية مستقلة وخصائص ثابتة في شكلها الكروي وتركيبها الجلدي وغيرها؛ إنها ليست بيتاً أو غيمة أو نجماً. إننا نرى الكون على أنه مجموعة من الأشياء المتميزة متفاعلة فيما بينها. لكن هذه الصورة ليست أكثر من تقريب، ذلك أن الأشياء تكون متمايزة طالما أن تفاعلها معاً طفيف للغاية. فلدى سقوط قطرة الماء في المحيط، نجدها تتفاعل معه على نحو عنيف يجعلها تذوب فيه وتختفي بين طياته لتفقد هويتها بالكامل. نظرياً، لا يمكن للتأثير المتبادل بين الأشياء أن ينعدم كلياً، فالقوى الفاعلة بين الذرات من كهربائية وثقالية ونووية تجعلها تتفاعل بعضاً مع بعض، وإن كان هذا التفاعل يضمحل ويتلاشى بتزايد المسافات الفاصلة

بينها. لكن هذا لا يمنع الأشياء طبعاً من أن تبدو لنا مستقلة بعضاً عن بعض، ذلك أن القوى المذكورة بتلاشيها مع تزايد المسافة تجعل التأثير المتبادل معدوماً بالمعايير العملية كافة.

إن إعطاء هوية محددة للأشياء يعاني من صعوبة كبيرة على الصعيد الفلسفي. فمثلاً، هل كرة القدم هي دائماً الكرة نفسها في جميع الأوقات؟ إنها بعد ركلها تفقد جزءاً من جلدها وتحمل شيئاً من الطين ومن طلاء الحذاء، كما أنها تكتسب اندفاعاً وتدويماً، وقد تفقد شيئاً من الهواء المحصور فيها. فلماذا إذن ننظر إلى الكرة بعد ركلها على أنها الكرة ذاتها؟ وعلى غرار ذلك، من المعتاد أن ننسب إلى الأشخاص هوية ثابتة، على الرغم من التغير المستمر في خلايا أجسامهم وشخصياتهم علاوة على مشاعرهم وذاكرتهم التي تتغير تبعاً لحصيلة معاناتهم اليومية. إنهم ليسوا بالضبط الأشخاص الذين كنا نعرفهم بالأمس نفسهم. والأكثر من هذا، وبالنظر إلى أعماق الأمور، لا يمكن اعتبار الكرة المرصودة كالكرة غير المرصودة، وذلك بسبب الاضطراب الذي ينشأ فيها عن فعل الرصد بالذات.

قد يبدو أن حل هذه الصعوبات يكمن في اعتبار العالم ككل شيئاً غير قابل للتجزئة؛ كما أنه يمكننا، بتقريب جيد، أن نعتبره مقسماً إلى مجموعة كبيرة من الأشياء شبه المستقلة ذات الهوية المتميزة التي لا نشك في بداهتها على الرغم من كل جدل فلسفي. وعلى أي حال، وسواء نظرنا إلى الكون على أنه كل واحد لا يتجزأ أم أنه مجموعة من الأشياء المستقلة والمتفاعلة فيما بينها، فإن حقيقته تبدو من وجهة النظر النيوتنية واحدة تماماً في كلتا الحالتين. وعلى الرغم من أننا نمثل جزءاً لا يتجزأ من تلك الحقيقة، فإنها تبقى مستقلة عنا وموجودة قبل وجودنا وبعده.

نشير هنا إلى أن وجهة النظر هذه حول مفهوم الحقيقة قد تعرضت للنقد من قبل مدرسة فلسفية تدعى الوضعية المنطقية*، والتي ترى أن كل مقولة حول العالم لا يتم إثباتها والبرهان عليها من قبل الإنسان هي مقولة عديمة المعنى، ومثالها مقولة أنه قد حدثت خسوفات وكسوفات قبل أن يوجد من يراها. إذ كيف يمكن التأكد من صحة حدوثها؟ إن الحقيقة، عند متطرفي فلاسفة الوضعية، ليست إلا ما نستطيع إدراكه بالفعل، إذ ليس هناك من وجود خارجي مستقل عن المراقب الواعي. لكن حتى لو سلمنا بأن حقيقة الحوادث اللامرصودة لا يمكن إثباتها بأي وسيلة

* الفلسفة الوضعية (أو اليقينية) التي نادى بها أوغست كنط، وتقول بأن الذهن البشري يجب أن يستغني عن معرفة الأشياء بماهيتها الذاتية، وأن يكتفي بالحقائق المستمدة من رصد الظواهر والتجربة. (المُراجع)

عملية، فإن إثبات لاحقيقتها متعذر أيضاً للسبب نفسه، وكلا المقولتين في فقدان المعنى سواء. إن صورة العالم في المدرسة الوضعية، بمفهومها المتطرف على الأقل، لا تتفق مع صورة الكون المألوفة، وكثير من العلماء لا يقيم وزناً لمعتقداتها التي تعاني من تناقض فلسفي في داخلها بالذات. فمثلاً، كيف يمكن إثبات أن المقولات غير القابلة للإثبات هي مقولات عديمة المعنى؟ فيما يلي، سوف نفترض أن هناك معنى لوجود خارجي مستقل عنا، وأن الأشياء موجودة على الرغم من أننا قد لا نعرف بها.

بالعودة إلى نظرية الكم، نستطيع الآن أن نتلمس بعض المسائل البارزة بخصوص طبيعة الحقيقة. فلئن كانت الكرة المنظورة لا تختلف عن غير المنظورة إلا بمقدار ضئيل للغاية، فإن لعملية الرصد آثاراً هائلة على الجسيمات الذرية. لقد ذكرنا في الفصل الثالث أن كل عملية قياس تُجرى على الالكترون تؤدي إلى اضطراب كبير وغير مسيطر عليه في حالته. لكن حتمية وقوع الاضطراب في حالة الجسم لا تغير من مفهوم الحقيقة شيئاً، وكل ما في الأمر هو أنه ليس هناك من وسيلة، حتى من حيث المبدأ، تمكن من معرفة تفاصيل الاضطراب. فليس من الممكن مثلاً تحديد كل من اندفاع الالكترون وموضعه في آن واحد. كذلك، هناك عوائق أساسية في وجه تعريف الوجود المستقل والمحدد لكل جسيم من مجموعة جسيمات ذرية، إذ بما أن الالكترونات كلها، مثلاً متماثلة في تكوينها المتأصل فيها، فإن من غير الممكن، لدى تقاربها، تمييز أي منها عن غيره، خاصة وأن الارتياب في مواضعها قد يتجاوز عندئذ مقدار المسافات الفاصلة بينها. كذلك ليس بالمستطاع أن نقرر دوماً أي ثقب في الحاجز عبره الالكترون أو الفوتون حقاً. وعلى الرغم من ذلك، قد يفترض المرء بأنه يستطيع تصور عالم صغري يحتوي الكترونات وجسيمات أخرى تمثل حقاً موقعاً معيناً وتتحرك وتتصرف على نحو محدد، حتى وإن كنا لا نستطيع تحديد ماهيتها عملياً. فللوهلة الأولى، قد يبدو أن الارتياب الأهم إنما دخل من فعل القياس عينه، كما لو أن الجهاز المستخدم قد شوش حالة الجملة الصغرية بعض الشيء، وهذا ما كنا قد قررناه مسبقاً عندما قدمنا الفكرة للمرة الأولى في الصفحة ٦٨. لكن الأمر، وكما سنرى فيما يلي، ليس كذلك، فالاضطراب لا بد أن يستمر حتى بدون تدخلنا، وإلا فإن جميع الذرات التي لا نرصدها مباشرة قد تتمرد على قوانين الكم وتنهار.

ومع ذلك، مازلنا نستطيع أن نرسم في الذهن صورة يكون فيها لكل من الجسيمات دون الذرية موقع وسرعة محددان فعلاً، حتى ولو كانت تهتز حول هذا الموقع، وأن نعتبر الارتياب في حالتها ناجماً عن قصورنا في الإلمام بتفاصيل حالة كل منها، على غرار الطريقة التي ينظر بها عادة إلى

جزيئات الغاز. فمن المعروف أن جزيئات الغاز في حركة عشوائية دائمة، وأن هذه الحركة هي السبب في تشكل ضغطه. لكن بسبب العدد الهائل من الجزيئات لا يمكن متابعة الحركة الإفرادية لكل منها؛ لذلك، ومن وجهة النظر العملية، يوجد ارتياب في الحركة الجزيئية ناجم حصراً عن جهلنا بدقائق تفاصيل حركة كل جزيء، وهو يشابه الارتياب في مسألة قذف قطعة النقد التي ناقشناها في الفصل الأول. في مثل هذه الظروف لا يملك الفيزيائيون سوى الطرق الإحصائية، إذ على الرغم من أن حركة كل جزيء من الجزيئات غير محددة تماماً بالنسبة لنا، فإن محصلة حركتها الإجمالية مجتمعة يمكن أن تُري نوعاً من الانتظام العام، شأنها في ذلك شأن مسارات الأشخاص عبر الحديقة وما فيها من ارتيابات إفرادية (انظر الشكل ٣). لذلك يتم حساب خصائص الغاز على أساس إحصائي، ومنها يمكن حساب احتمال الاختلاط التام لغازين مختلفين بعد دقيقة، مثلاً، من وضعهما معاً في وعاء واحد. إن الوصف الإحصائي للجمل المكونة من عناصر فوضوية عشوائية يشابه إلى حد بعيد الوصف الكمومي للجسيمات الذرية التي تتحرك على أساس احتمالي. وهنا قد يتساءل المرء عما إذا كان تصرف الالكترون اللاحتمي يعود في طبيعته إلى ظواهر مماثلة لتلك التي تخضع لها جزيئات الغاز. هل من الممكن أن لا تكون الالكترونات وأقرانها من الجسيمات النووية أصغر الأشياء على الإطلاق في العالم الصغري، وأن هناك مؤثرات أصغر منها تؤدي إلى عشوائية تصرفاتها، كما هو الأمر بالنسبة لجزيئات الغاز؟ إذا كان الأمر كذلك، فلا مناص لنا عندئذ من أن نعزو الارتياب الكمومي، وبكل بساطة، إلى جهلنا بالتفاصيل الدقيقة لبنى تلك القوى الفوضوية.

لقد حاول عدد من الفيزيائيين وضع نظرية لظواهر الكم على أساس الفكرة السابقة، حيث لا تمثل التفاوتات العشوائية الظاهرية في العالم الذري لا حتمية متأصلة في الطبيعة ذاتها، وإنما تعبر فقط عن بنية خفية في ثنايا العالم الصغري الذي تحكمه قوى جزئية بالغة التعقيد، لكن محددة تماماً، وتجعل أحداثه تبدو لنا بتلك العشوائية واللاحتمية. وضمن هذا الإطار، تصبح لاحتمية الجمل الكمومية في أصلها مماثلة لتلك التي تظهر في الأحوال الجوية، والتي لا يمكن التعبير عنها إلا على أساس احتمالي باستخدام الوسائل الإحصائية.

لم تلاقِ الفكرة السابقة في تفسير اللاحتمية في الجمل الكمومية ـــ وهي تنسجم إلى حد بعيد مع الحس العام ـــ الترحيب الواسع في الأوساط العلمية لسببين. أولهما أنها تتطلب إدخال تعقيدات كثيرة في النظرية؛ فعلاوة عن فهم الالكترونات والجسيمات الأخرى، نحتاج أيضاً إلى فهم تلك القوى الجزئية الغامضة التي تؤدي إلى اللاحتمية في حالتها: ما هو أصل هذه القوى؟ ما هي

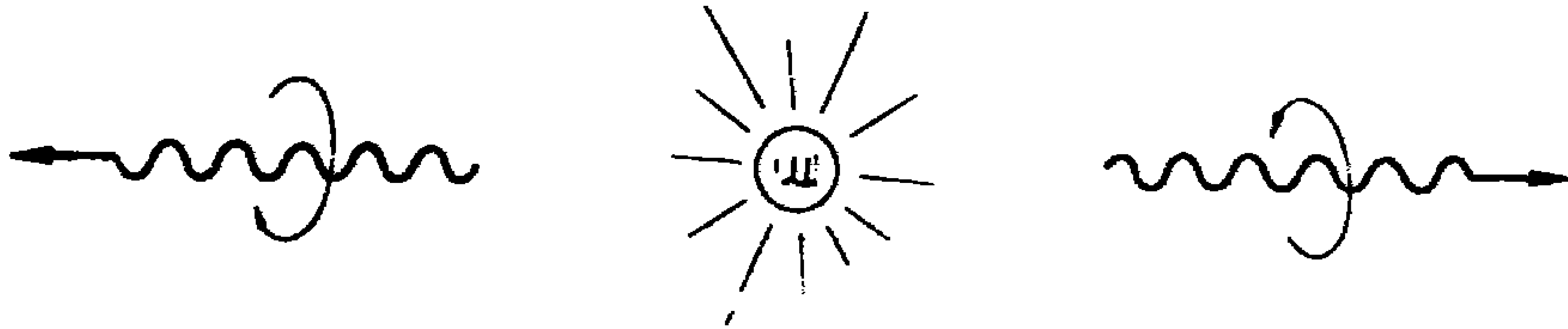
آلية عملها وما هي القوانين التي تخضع لها؟ أما السبب الثاني، فهو أكثر جوهرية من الأوَّل، وينبع من صميم ثورة الكم ذاتها.

إن الجزء الأكبر من هذا الفصل مخصص لتحليل جملة من الاستنتاجات التي تذهل العقل والتي تبدو لا مفر منها إذا أردنا أن نفهم طبيعة الحقيقة على ضوء تجارب معينة في المجال الذري، وأكثر التجارب شهرة في هذا المجال هي تلك التي اقترح مبادئها آينشتاين مع ناثان روزن (Nathan Rosen) وبوريس بودولسكي (Boris Podolsky) حوالي عام ١٩٣٥، والتي لم تنفذ عملياً إلا في السنوات الأخيرة بعد أن تطورت التكنولوجيا إلى الحد الذي سمح باختبار أفكارهم. لقد أكدت هذه التجارب أن نشوء الارتياب الكمومي، بشكله البسيط على الأقل، عن مجرد اضطرابات في البنية التحتية هو أمر غير مقبول.

يمكن فهم المبدأ الأساسي في «أحجية آينشتاين ـــ روزن ـــ بودولسكي»، وهو الاسم الذي اشتهرت به، بتصور قذيفة تم إطلاقها من مدفع. تدل التجربة على أن المدفع يرتد في لحظة الإطلاق إلى الخلف باندفاع يساوي اندفاع القذيفة إلى الأمام تماماً، ولو كان المدفع والقذيفة متساويين في كتلتيهما فإنهما ينطلقان بعد الإطلاق باتجاهين متعاكسين لكن بسرعتين متساويتين. وإذا كانت سبطانة المدفع محلزنة بحيث تأخذ القذيفة بالفتل حول نفسها في أثناء انطلاقها، فإن المبدأ نفسه يتطلب من المدفع أن ينفتل بالاتجاه المعاكس. بكلمات أخرى، كل من الحركة الانسحابية والدورانية اللتين تكتسبهما القذيفة لدى انطلاقها يؤديان إلى رد فعل في المدفع في نفس لحظة الإطلاق يعاكس تماماً حركة القذيفة.

وفي العالم دون الذري توجد أيضاً جسيمات تطلق قذائف في حركة انسحابية ودورانية، وقد بينت التجارب أن فتل (سبين) وارتداد كل من الجسيمات وقذائفها تخضع لنفس القواعد التي تحكم المدفع وقذيفته. وبعض الجسيمات يمكن أن تتفكك إلى وحدتين متماثلتين تماماً، مما يجعلهما ينطلقان باتجاهين وسبينين متعاكسين تماماً. فالجسيم المعروف باسم بيون (pion)، وهو في الأصل عديم السبين، يتفكك في أقل من عشرة أجزاء من مليون مليار من الثانية، منقسماً إلى فوتونين ينطلقان باتجاهين متعاكسين، ويتجه سبين أحدهما باتجاه دوران عقارب الساعة حول منحى مساره، بينما يتجه سبين الآخر بالاتجاه المعاكس. إن قواعد نظرية الكم تتطلب أن يكون احتمال سبين الفوتون في الاتجاه الأوَّل مساوياً تماماً لاحتمال سبينه في الاتجاه الآخر؛ فحسب خاصة التناظر،

لا يوجد من سبب يجعل اتجاهاً مفضلاً على الآخر . وبالتالي ، إذا كان الفوتونان منطلقين على منحى الشمال ـــ الجنوب ، سيكون احتمال سبين الفوتون المتجه شمالاً باتجاه دوران عقارب الساعة مساوياً لاحتمال سبينه بالاتجاه المعاكس ، لكن إذا كان الفوتون المنطلق شمالاً ذا سبين في اتجاه دوران عقارب الساعة ، فإن الفوتون الآخر والمنطلق جنوباً يجب أن يكون سبينه في عكس ذلك الاتجاه ، والعكس صحيح (انظر الشكل ١٤) . لذلك ، وبسبب هذا الترابط التام بين اتجاهي سبيني الفوتونين ، يجب أن يعطي رصد اتجاه أحدهما معلومات مباشرة عن اتجاه الآخر .



شكل ١٤ : الترابط السبيني :

عندما يتفكك البيون إلى فوتونين ، يجب أن يكون سبين (فتل) أحدهما معاكساً لسبين الآخر ، ولذلك يمكن استنتاج سبين أحدهما من رصد اتجاه سبين الآخر . والمفارقة في الأمر ، على أي حال ، تتجلى في أن اتجاه السبين يبقى غير معين إلى أن تجرى عملية قياس فعلية عليه .

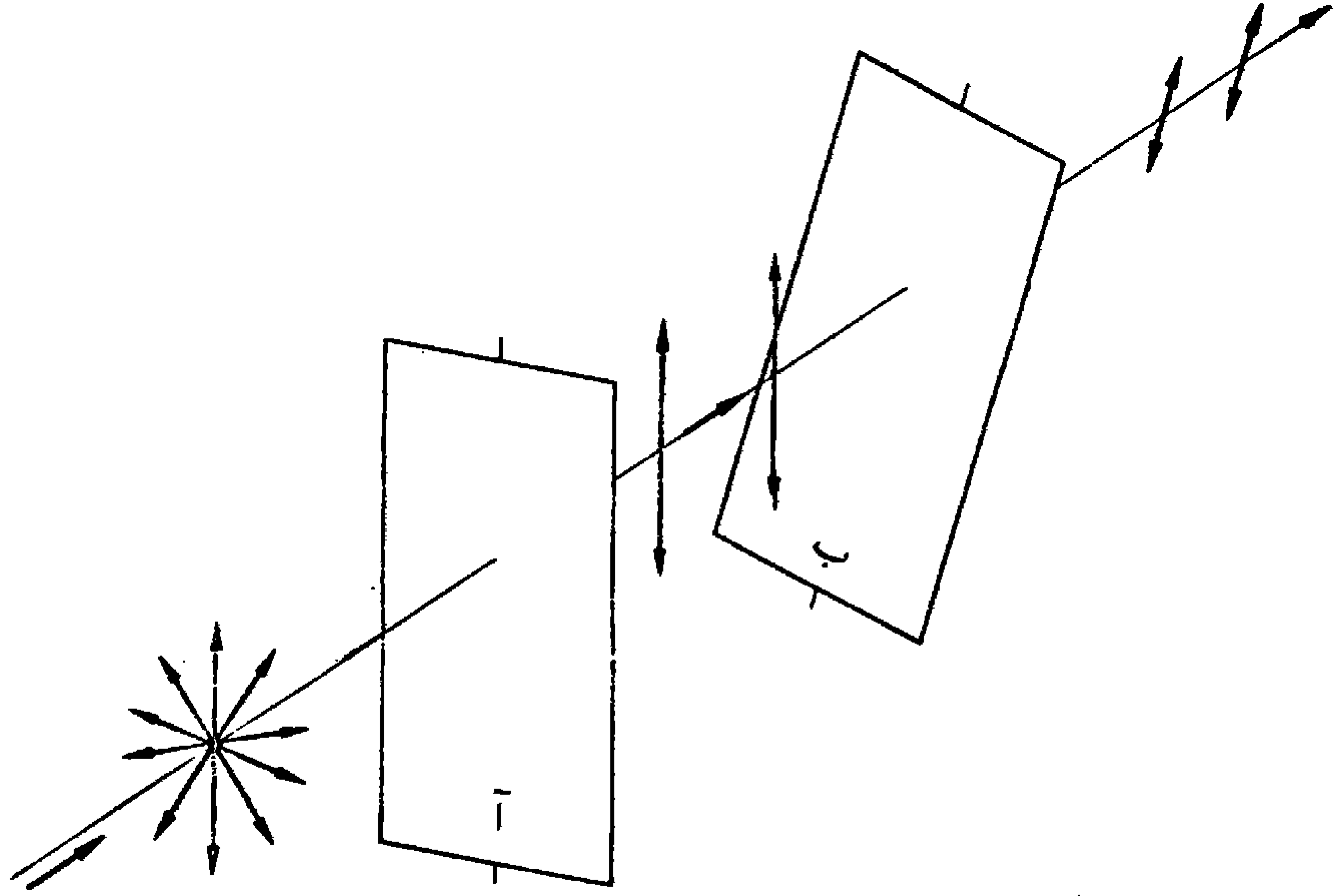
إن السمة الأساسية في هذا المثال هي أنه يمكن للفوتونين الناتجين عن تفكك الجسيم الأب أن يسيرا متباعدين إلى مسافات كبيرة ، وإذا كان انفجار الجسيم يتم في الفضاء الخارجي فإن الفوتونين يتباعدان إلى مسافات تقدر بالسنين الضوئية . فإذا أجرينا الآن عملية قياس محلية على أحد الفوتونين لمعرفة اتجاه سبينه ، نحصل على معلومات آنية عن سبين الفوتون الآخر الذي قد يكون خارج المجرة بالكامل ؛ لكن وبموجب نظرية النسبية لا يمكن للمعلومات أن تنتقل بسرعة تزيد عن سرعة الضوء ، وبالتالي ، فإن الحصول على معلومات آنية عن فوتون يبعد عنا مسافات هائلة قد يبدو متناقضاً مع تلك النظرية . ففي حالة المدفع والقذيفة ، يعلم الجميع أن اتجاه سبين كل منهما محدد سلفاً إبان الإطلاق ، ومهمة عملية الرصد عندئذ تقتصر على إتاحة تلك المعلومات للمراقب . ومن الواضح أنه لا حاجة هنا إلى إرسال إشارات تزيد سرعتها عن سرعة الضوء ، إذ لا يوجد أي شكل من التأثير الفيزيائي المتبادل بين الجسمين بعد خروج القذيفة من فوهة المدفع . لذلك ، وطالما أننا نفترض وجود عالم حقيقي مستقل عن وعينا وعن نيتنا في القيام بعملية الملاحظة ، ومحتوٍ على أشياء

حقيقية (المدفع، القذيفة) ذات خصائص حقيقية (فتل، تباعد)، فليس هناك من تعارض مع مبادئ النسبية ومع عجزنا عن إرسال إشارة تفوق سرعتها سرعة الضوء.

إنه لأمر طبيعي أن نعمم هذه الصورة وأن نطبقها على العالم الذري أيضاً، وأن نفترض أن كلاً من الفوتونين يمتلك في الحقيقة سبيناً بالاتجاه كذا أو الاتجاه الآخر، بغض النظر عن نيتنا في رصدهما وإجراء القياس عليهما. لكن واقع الأمر ليس كذلك في العالم الصغري، وسنبرهن الآن أن جوهر الطبيعة الموجية للجسيمات الذرية هو الذي يمنع كل محاولة للادعاء بأن هذه الجسيمات تتصرف فعلاً بطريقة محددة، قبل أن نقوم برصدها.

لننظر الآن إلى الفوتونين، لكن بدلاً من أن نتابع مناقشة مسألة سبينيهما كما سبق، سنناقش خاصة أخرى ترتبط بالأولى لكنها أسهل وأقرب إلى الفهم، وهي ما يُعرف فيزيائياً بالاستقطاب. إن الاستقطاب ظاهرة مألوفة في الحياة العادية، وهي في نفس الوقت المقدار الفيزيائي الذي اختاره العلماء لقياس ما سنتكلم عنه فيما يلي وللتأكد منه تجريبياً. تُستخدم ظاهرة الاستقطاب في معظم النظارات الشمسية الحديثة، وفهم وظيفة هذه النظارات هو كل ما يحتاجه المرء لفهم أن العالم ليس حقيقياً بالمعنى الذي نراه. فالضوء كما نعلم اهتزاز كهرطيسي، وللمرء أن يتساءل عن اتجاه اهتزاز هذا الحقل الكهرطيسي. تشير الدراسة الرياضية والتجارب العملية إلى أنه إذا كانت موجة الضوء منتشرة بالاتجاه الشاقولي مثلاً، فإن اهتزاز الحقل يكون في المستوى الأفقي، أي أن اتجاه انتشار الموجة يتعامد مع منحى اهتزازها. وفي هذا المستوى الأفقي يمكن للاهتزاز أن يكون في أي اتجاه، إذ أنه حسب خاصة التناظر لا يوجد ما يمنع الاهتزاز من أن يكون على المنحى شرق ــ غرب أو شمال ــ جنوب أو على أي منحى بينهما. إن الصفة الهامة في النظارات الاستقطابية هي أنها لا تكون شفافة إلا إزاء الضوء الذي يهتز حقله الكهرطيسي وفق منحى خاص، فتسمح لهذا الضوء بالنفاذ عبرها. فلو أرسلنا ضوءاً عادياً على هذا المُقَطِّب (أي النظارة) وفحصنا الضوء بعد خروجه منه لوجدناه يهتز كلياً وفق ذلك المنحى الخاص للمقطب، ونقول عندئذ عن هذا الضوء إنه مستقطب. لذلك فإن النظارة الاستقطابية تقوم بدور المرشح الضوئي الذي يسمح بمرور الضوء المستقطب في منحى اهتزاز معين. يمكننا طبعاً أن نختار، وبكامل حريتنا، منحى الاستقطاب الذي نريد، وذلك بتدوير المقطب.

لنفترض الآن أننا وضعنا مُقَطِّباً ثانياً بعد المقطب الأول باتجاه الضوء. فإذا كان منحيا



شكل ١٥: الصفائح المقطبة والفوتونات المستقطبة:

تحدث الاهتزازة الضوئية عمودياً على منحى انتشارها. يتألف الضوء العادي من اهتزازات متراكبة في الاتجاهات كافة، لكن بعد عبور المقطب آ، يتبقى منحى اهتزاز واحد فقط، ويقال عن الضوء إنه مستقطب. وعندما يصطدم الضوء المستقطب بمقطب آخر ذي استقطاب مائل (الصفيحة ب) فإن جزءاً من ذلك الضوء يستطيع النفاذ منه. إن شفافية الصفيحة ب تعتمد على وضع منحاها الخاص (المنحى الذي يستقطب الضوء وفقه بعد خروجه منها) بالنسبة للمنحى الخاص للصفيحة آ. فإذا كان هذان المنحيان متوازيين ينفذ الضوء الآتي من آ بكاملة عبر ب، وإذا كانا متعامدين لا ينفذ شيء.

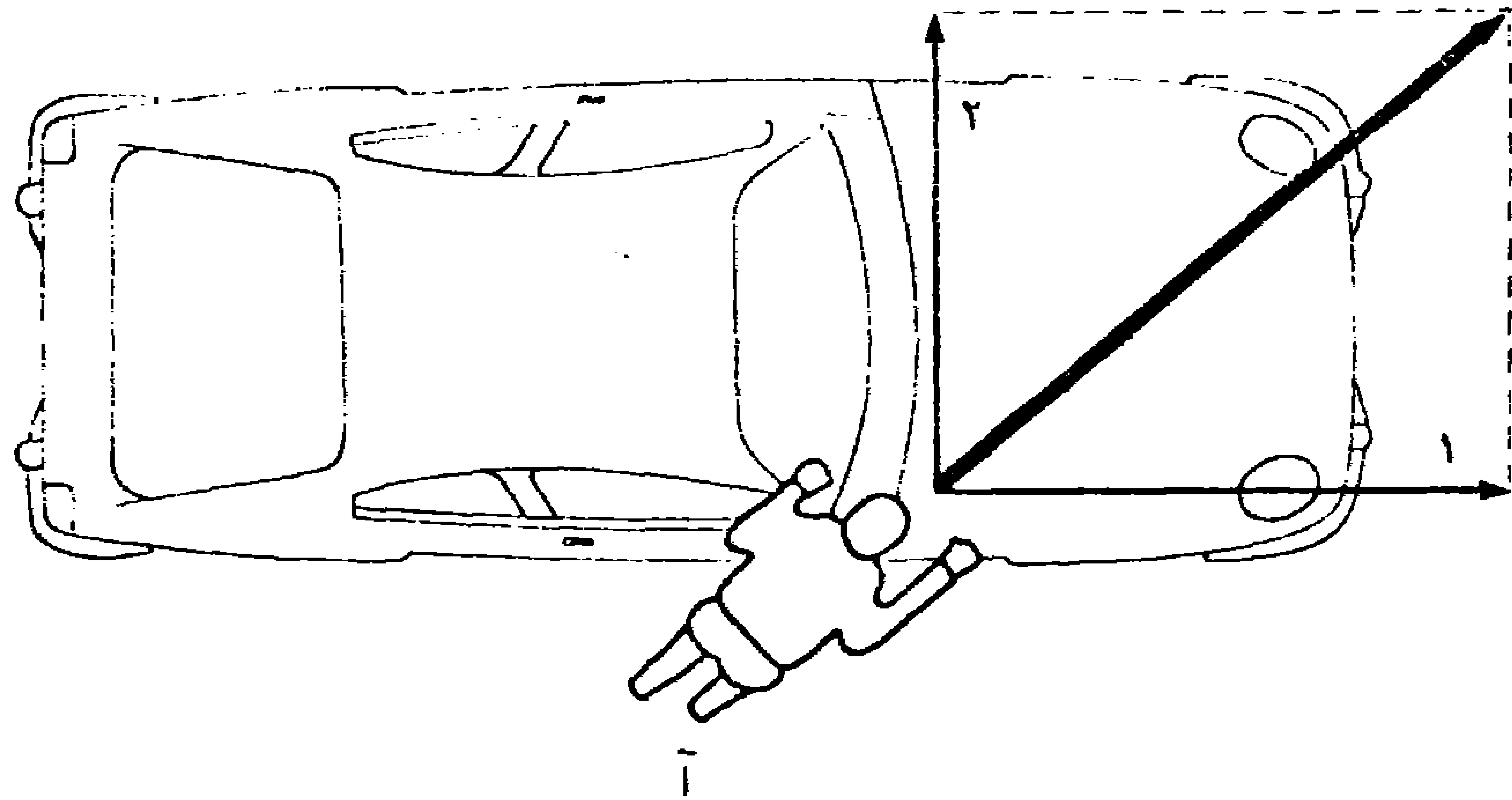
استقطابهما الخاصان متوازيين، فإن كامل الضوء الذي يعبر أولهما، يعبر الثاني أيضاً، وذلك لأن الضوء يصل إلى الثاني مستقطباً في المنحى الخاص به. ومن ناحية أخرى، ولدى وضع المقطب الثاني بحيث يتعامد منحاه الخاص مع المنحى الخاص للمقطب الأول، فلن يمر أي ضوء عبر المقطب الثاني، لأن الضوء الوارد من المقطب الأول يكون مستقطباً عندئذ بشكل عمودي على منحى الاستقطاب للمقطب الثاني (انظر الشكل ١٥). وأخيراً، إذا وضعنا المقطب الثاني بحيث يكون منحاه الخاص مائلاً على المنحى الخاص للآخر، أي ليس عمودياً وليس موازياً، بل بين هذا وذاك، يعبر عندئذ بعض الضوء القادم من المقطب الأول المقطب الثاني، وينحجب بعضه الآخر؛ إن هذا

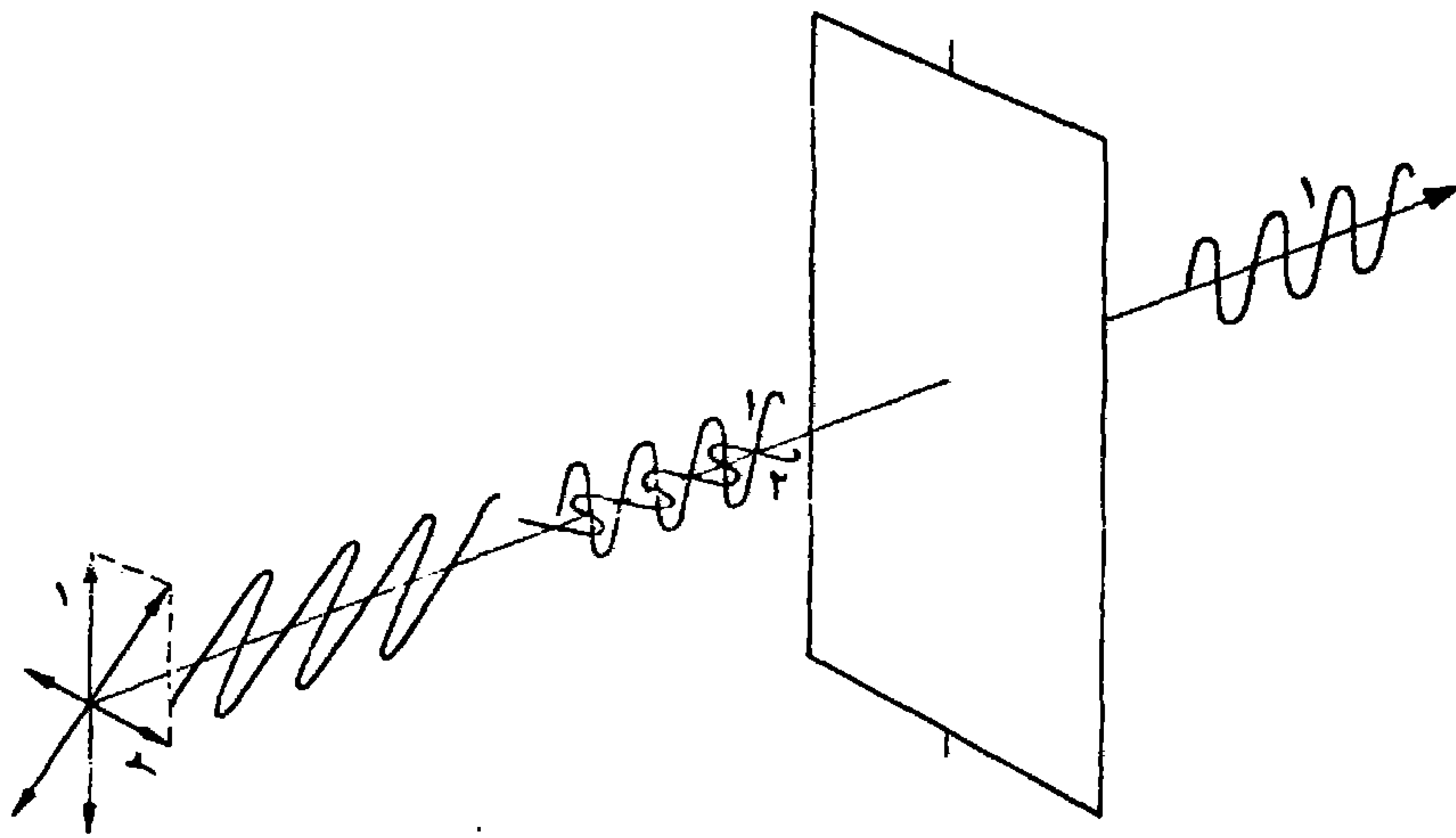
هو مبدأ النظارات الشمسية الاستقطابية، التي تسمح بمرور جزء من الضوء الطبيعي المنعكس عن الأجسام الأخرى باتجاهات اهتزاز مختلفة.

يمكن فهم السبب في أن المقطب يقبل بمرور جزء من الضوء الذي يميل منحى اهتزازه على منحاه الخاص، على نحو مماثل لما يجري لدى محاولتنا دفع السيارة بشكل مائل (انظر الفصل الثالث). فالاهتزازة الضوئية هي شعاع أيضاً، وإذا كان اتجاه هذا الشعاع موازياً للمنحى الخاص للمقطب، فإن الضوء سوف يمر بكامله، أما إذا كان عمودياً فسوف يُمنع من المرور. الخاصة الهامة هنا، والتي يمكن أن نتبينها من مثال دفع السيارة، هي أنه يمكن تحريكها حتى ولو كان اتجاه قوة دفعها مائلاً بالنسبة لاتجاه حركتها، وهذا ما يحصل لدى محاولة الشخص دفع سيارة عند باب السائق حيث يحاول في نفس الوقت السيطرة على مقودها (الشكل ١٦). وكلما كان اتجاه الدفع أقرب إلى اتجاه التحريك، كان الدفع أكثر جدوى، والعكس صحيح. وبشكل مماثل، يمكن للضوء ذي الاستقطاب المائل على المنحى الخاص للمقطب النفاذ منه، وتزداد كمية الضوء النافذة بنقصان زاوية الميل والعكس صحيح.

لقد أتينا في الفصل الثالث على ذكر سبب إمكانية تحريك السيارة عن طريق دفعها بشكل مائل، والشكل ١٦ ــ آ يمثل هذا بيانياً، حيث يتم تحليل شعاع قوة الدفع إلى مركبتين متعامدتين، إحداهما، وهي المركبة رقم ١، تعمل في اتجاه التحريك ولذلك تكون هي المركبة الفعالة، بينما تعمل الثانية، وهي المركبة رقم ٢، في اتجاه عمودي على اتجاه التحريك وبالتالي تكون عديمة الفعالية. وعلى نحو مماثل، يمكن فهم نفاذ الاهتزازة الضوئية المائلة على المنحى الخاص للمقطب؛ فهنا يمكن اعتبار موجة الضوء على أنها مركبة من موجتين جزئيتين، إحداهما تهتز على منحى مواز للمنحى الخاص ولذلك تعبر المقطب، والأخرى تهتز في منحى معامد، الأمر الذي يمنعها من المرور. وكلما كانت زاوية منحى اهتزاز موجة الضوء مع المنحى الخاص للمقطب أصغر، كانت الموجة الجزئية الموازية أكبر وبالتالي ازداد مقدار الضوء العابر للمقطب (الشكل ١٦ ــ ب).

كل هذه التجارب تأخذ مظهراً غريباً نوعاً ما عند أخذ الطبيعة الكمومية للضوء بعين الاعتبار. فتبعاً لنظرية الكم، يتألف الضوء أصلاً من تيار من الفوتونات، وكل فوتون هو وحدة مستقلة ذات اتجاه استقطاب خاص بها؛ وفوق هذا فإن الفوتون لا يتجزأ، أي لا يمكن تحليله إلى موجتين جزئيتين كما فعلنا أعلاه، وبذلك يبطل التعليل الذي قدمناه لمرور الضوء ذي الاستقطاب المائل عبر المقطب. إن هذا يقود مباشرة إلى الاستنتاج الذي يقول إن الفوتون ذا الاهتزاز المائل سوف





شكل ١٦: تحليل القوة والاهتزازة:

آ ـــ يمكن اعتبار القوة المائلة (السهم الثخين) مركبة من قوتين جزئيتين: المركبة ١ الموازية للطريق والتي تعمل على تحريك السيارة، والمركبة ٢، العمودية على الأولى والتي لا فعالية لها في التحريك. إن المطال النسبي (الشدة النسبية) لكلا القوتين يعتمد على زاوية الدفع.

ب ـــ على نحو مشابه، يمكن اعتبار موجة الضوء المستقطب على أنها مركبة من موجتين جزئيتين، الأولى تهتز بشكل موازٍ للمنحى الخاص للمقطب، ولذلك تستطيع النفاذ خلاله، والثانية تهتز بشكل معامد ولذلك لا تمر.

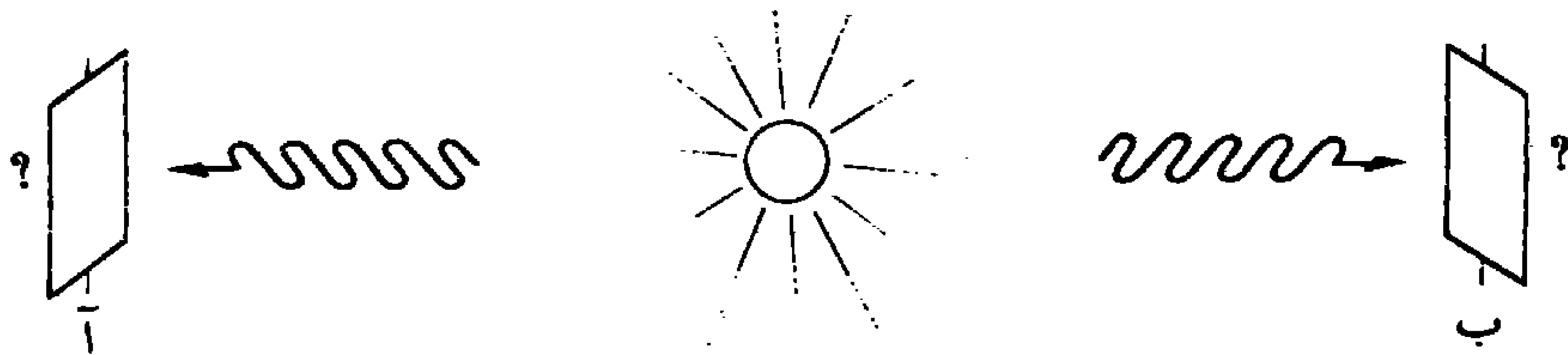
يعبر المقطب أو يمتنع عن ذلك باحتمال معين. إذا كان منحى استقطاب الفوتون يصنع زاوية قدرها ٤٥ درجة مع المنحى الخاص للمقطب، يكون احتمال عبوره لها، وبالتالي احتمال عدم عبوره، مساوياً خمسين بالمئة. إن النقطة الهامة والحاسمة هنا هي أن الفوتون الذي عبر لا بد أن يخرج باستقطاب مواز للمنحى الخاص للمقطب.

ما يمكن استنتاجه من المناقشة السابقة هو أنه عندما يتفاعل الفوتون مع المقطب، يتغير منحى استقطابه ليتوافق مع المنحى الخاص لذلك المقطب. من الممكن أن يُمَرَّر الفوتون عبر مقطب ثان وثالث أو أكثر، المنحى الخاص لكل منها يصنع زاوية ما مع المنحى الخاص لسابقه. عندئذ، وفي كل مرة يعبر الفوتون أحدها — باحتمال معين — سيخرج مستقطباً بما يوافق المنحى الخاص لذلك المقطب. وبالفعل، يمكن باستخدام عدة مقطبات متتالية، جعل الفوتون يخرج من المقطب الأخير مستقطباً بشكل عمودي على منحى استقطابه لدى دخوله المقطب الأول.

لدى انطلاق فوتون من ذرة ما، لا تكون حالته الاستقطابية معروفة لنا، لكن إذا اعتبرنا المقطب أداة قياس أو وسيلة لكشف استقطاب الفوتون، فإن النتيجة ستكون أحد أمرين: إما أن يمر الفوتون عبر المقطب أو أن يمتنع عن المرور. لكن ما نعلمه بشكل مؤكد هو حالة الفوتون بعد النفاذ عبر المقطب، ذلك أننا نعلم أنه سوف يخرج منه باستقطاب مواز للمنحى الخاص؛ وإذا حاولنا أن نسأل عن الحالة الاستقطابية للفوتون قبل إجراء عملية القياس، أي قبل أن يدخل المقطب، فإننا لن نجد الجواب، لأن المقطب قام بتغيير حالته، أي أحدث اضطراباً فيه وفرض على استقطابه أن يكون وفق المنحى الخاص به. يمكن الجدل هنا بأن الفوتون قد كان فعلاً في حالة استقطاب معينة قبل عملية القياس، وأن المقطب هو الذي قضى على المعلومات الخاصة بحالة الاستقطاب تلك لدى عبور الفوتون له. وقد يقول قائل لماذا لا نقوم باختبار حالة استقطاب الفوتون قبل عبوره المقطب، أي قبل مباشرة عملية القياس. من الواضح أن ذلك يتضمن عملية قياس أخرى تسبق عملية القياس المفترضة أولاً، مما يؤدي إلى نتيجة مماثلة ويتطلب بالتالي عملية قياس جديدة تسبق الاثنتين... وهكذا.

لقد وصلنا الآن إلى النقطة الأساسية في حجة آينشتاين — روزن — بودولسكي التي ابتدأنا هذه المناقشة بذكرها. لنفترض أن هناك فوتونين بدلاً من الفوتون الواحد وأنهما ينطلقان باتجاهين متعاكسين بعد أن تم إصدارهما نتيجة تفكك جسيم ما، كما سبق وبينا بمناسبة الشكل ١٤. لقد رأينا أن سبيني الفوتونين لا بد أن يكونا مترابطين حسب القوانين الأساسية للميكانيك بجهتي تدويم

متعاكستين ؛ وكذلك هو الأمر بالنسبة لمنحيي استقطابهما ، حيث يمكن لهذين المنحنيين أن يكونا متوازيين مثلاً . هذا يعني أن رصد استقطاب فوتون منهما يعطي معلومات مباشرة عن استقطاب الآخر ، مهما كان هذا الآخر بعيداً عن الأول . الآن ، ومهما كانت زاوية وضع المقطب في طريق الفوتون ، فإنه سوف ينفذ منه أو يمتنع باحتمال معين ، لكن إذا نفذ فإن استقطابه سيكون على المنحى الخاص للمقطب . من الواضح أن القرار في نتيجة القياس هنا هو قرار ثنائي الوجه ، بمعنى أن يمر الفوتون وبالتالي يكون مستقطباً باتجاه المنحى الخاص للمقطب ، أو لا يمر ، وعندها يكون ذا استقطاب معامد ، وذلك مهما كانت زاوية وضع المقطب التي يمكن أن نختارها بحرية تامة كما نريد .
إن ما يحير العقل هنا هو موضوع الحرية في اختيار وضع المقطب ، ذلك أن هذا يتضمن أن الفوتون قد عرف تلك الوضعية المختارة حتى قبل أن يكون قد وصل إلى المقطب ، واتخذ بالتالي إحدى وضعيتي الاستقطاب الموازية أو المعامدة للمنحى الخاص . والأدهى من ذلك يمكن أن يتبين من التالي : لنفترض أننا وضعنا مقطبين منحياهما الخاصان متوازيان في طريق كل من الفوتونين المنطلقين بالاتجاهين المتعاكسين . هذا سيفرض طبعاً على الفوتونين أن يكونا بنفس الحالة الاستقطابية بعد عبورهما للمقطبين ، بمعنى أنه مهما كانت نتيجة قياس حالة الأول فإننا سنجد الآخر في حالة مماثلة . هذا يعني أنه في كل مرة يمر فيها الفوتون الأول من مقطبه ، يجب على المقطب الآخر أن يسمح لفوتونه بالمرور ، والعكس صحيح (شكل ١٧) . تجدر الإشارة هنا إلى أنه قد تم تحري وإثبات هذه الأفكار مخبرياً بدقة تامة حيث أتت النتائج لتؤكد ما تم التنبؤ به نظرياً .



شكل ١٧ : أحجية آينشتاين — روزن — بودولسكي :

تطلق الذرة فوتونين آنياً باتجاه مقطبين منحياهما الخاصان متوازيان . إذا سمح المقطب آ لفوتونه بالعبور ، كذلك يفعل ب . فكيف يعلم ب ماذا سيفعل آ ؟ إن المقطبين آ و ب يمكن أن يكونا مفصولين بمسافة تقدر بالسنين الضوئية ، وكل منهما يمكن أن يمرر فوتونه أولاً . ما استنتجه بور هو أن الفوتونين لا يكونان حقيقيين فعلاً إلا بعد أن يلتقيا بالمقطبين .

الأمر المدهش والغريب في النتيجة التي توصلنا إليها يتمثل في أنه يمكن للفوتونين أن يكونا

مفصولين بملايين الكيلومترات عندما يتصادفا مع المقطبين الموجودين في طريقيهما ، وعلى الرغم من هذه المسافة الشاسعة يستمران بالترابط في تصرفيهما . اللغز هنا هو كيف يعلم المقطب الثاني أن الأول قد سمح لفوتونه بالنفاذ فيسمح هو بدوره للآخر بالنفاذ؟ إذا كان بُعدا المقطبين عن مركز انطلاق الفوتونين الأصلي متساويين ، سيصل الفوتونان إليهما في آن واحد ، وعندئذ ، حسب نظرية النسبية ، لا يمكن أن يكون قد انطلق من المقطب الأول أي إشارة إلى الثاني تُعلمه ما حصل لديه ، إذ لا يوجد ما يستطيع أن يتنقل بينهما بأسرع من الضوء ، ناهيك عن الانتقال الآني بين المقطبين . إن هذا ينطبق أيضاً عندما يكون المقطبان على بعدين مختلفين من مركز انطلاق الفوتونين ، ذلك أنه لو افترضنا أن المقطب الأقرب يريد إرسال إشارة إلى الآخر عندما يعبره أحد الفوتونين ، سيكون الفوتون الآخر قد قطع شوطاً بعيداً من الطريق ولا يمكن للإشارة الصادرة عن المقطب الأول أن تسبقه أو حتى أن تصل معه في نفس اللحظة ، لأنها لا يمكن أن تسير بسرعة تزيد عن سرعته . وفوق ذلك ، حسب نظرية النسبية ، لا يتفق المراقبون المتحركون بسرعات متفاوتة على التسلسل الزمني للأحداث ، وبالتالي إذا افترضنا أن المقطب آ (في الشكل ١٧) كان قد فرض ـــ بناء على قراره ـــ على المقطب ب قبول فوتون أو رفضه ، فإن متحركاً بسرعة مختلفة قد يرى أن المقطب ب قد قبل أو رفض فوتونه حتى قبل أن يكون المقطب آ قد قرر ماذا سيفعل بالفوتون الوارد إليه .

تُري هذه المناقشة بوضوح أن اللاحتمية في عالم الجسيمات لا يمكن أن تكون قد نتجت عن قصور في أداة القياس المستخدمة أو عن أي مؤثرات عشوائية تؤثر بالفوتون في أثناء طريقه إلى أداة القياس ، إذ لا يوجد عندئذ أي مبرر يجعل المقطبين المتباعدين يتعاونان معاً بتلك الطريقة المذهلة في السماح للفوتونين بالمرور أو عدم المرور سوية عبرهما . إن في تجربة آينشتاين ـــ روزن ـــ بودولسكي مضامين خطيرة حول طبيعة الحقيقة إذا ما أخذناها بحرفيتها . فقد يقول قائل إن الفوتونات الواردة إلى المقطبين هي في الحقيقة مستقطبة في منحى مواز لمحوري المقطبين وبالتالي ينفذان عبرهما ، أو أن منحى استقطابهما عمودي على هذين المحورين الأمر الذي يمنعهما من المرور . إن هذا يتضمن طبعاً نسب حالة محددة للفوتونين قبل وصولهما إلى المقطبين ، وفي ذلك خطأ فادح ليس فقط لأن على الذرة التي تشع الفوتونات أن تجهد نفسها عندئذ في محاولة معرفة وضع المقطبين وبالتالي إشعاع فوتوناتها باستقطاب مواز أو معامد لمحوري المقطبين ، بل أيضاً لأنه يمكننا تغيير رأينا والقيام بتعديل زاوية المحورين بعد أن يكون قد تم إشعاع الفوتونين من مصدرهما . إن من الصعب القول بمثل هذا الادعاء الذي يتضمن أن سلوك ذرة ما يجب أن يتأثر بقرارنا حول

القيام بتجربة على فوتون صادر عنها بعد صدوره. فالذرات تشع في الواقع فوتوناتها بالاتجاهات المختلفة وبشكل عشوائي مطلق، وليس من الممكن التصديق بأن نيتنا في التجريب تجعل ذرة ما تشع فوتوناتها باستقطاب محدد، خاصة إذا علمنا أنه يمكننا أن نختار أن نجري تجربتنا على فوتونات واردة من ذرات تبعد عنا مليارات السنين الضوئية وموجودة في الطرف الآخر من الكون. إن التحليل الرياضي يُري أنه لو كان الفوتونان فعلاً في وضع استقطابي محدد مواز أو معامد لمحوري المقطبين قبل وصولهما، فإن قرار ترابط المقطبين سوف يخفق، وهذا ما يناقض تنبؤات نظرية الكم والنتائج المخبرية التي أتينا على ذكرها. فالترابط بين قراري المقطبين يمكن أن ينشأ فقط إذا كانت الموجة التي تصف الفوتون عبارة عن تركيب يحتوي فعلاً كلاً من حالتي الاستقطاب في آن واحد.

هنا تتدخل الطبيعة الموجية للعمليات الكمومية بشكل أساسي وجوهري. فدفعاً لفكرة تأثر سلوك الذرات سلفاً بما نريد أن نفعله لاحقاً، دعنا نفترض وجود حزمة من الفوتونات ذات الاستقطاب المحدد الذي يتم الحصول عليه بإمرار الحزمة عبر مقطب، إذ أن كل الفوتونات لدى خروجها منه تكون ذات استقطاب وفق المنحى الخاص به، فإذا وضعنا مقطباً آخر في طريق هذه الفوتونات بحيث يكون منحاه الخاص مائلاً على منحى الأول، فإن الفوتونات إما أن تمر عبر المقطب الثاني أو لا تمر، وذلك باحتمال معين يعتمد على اختلاف زاوية المحورين. فإذا كانت الزاوية مساوية ٤٥°، يمر نصف الفوتونات ويمتنع نصفها، على أساس أن احتمال مرور الفوتون الواحد عندئذ هو خمسون بالمئة. الآن، إذا كان لجميع الفوتونات الواردة إلى المقطب منحى استقطابي واحد، فلماذا يمر بعضها ولا يمر بعضها الآخر؟ ما هو ذلك الأثر السحري الخفي الذي يميز بين الفوتونات المتماثلة عندئذ؟ هنا تأتي الطبيعة الموجية لعالم الجسيمات لتلعب دورها، ولتنظر إلى حزمة الفوتونات المستقطبة والخارجة من المقطب الأول على أنها مكونة من موجتين لهما شدة واحدة، إحداهما موازية لمحور المقطب الثاني والأخرى عمودية عليه، بغض النظر عن المنحى الخاص بذلك المقطب. إن كلاً من هاتين الموجتين يجب أن تكونا موجودتين معاً وفي آن واحد من أجل تشكيل الموجة الأصلية، والتداخل بينهما هو الذي يلعب الدور الحاسم في النتيجة. ليس ممكناً بالطبع أن نقول إن الموجة الموازية أو الموجة العمودية هي الموجودة فقط، وذلك لأن هذا يتناقض مع معرفتنا بأن الفوتون مستقطب أصلاً بزاوية ٤٥°. وفيما يخص الفوتون الواحد، نحن نعلم أنه عندما يمر فإنما يمر بكامله، إذ أنه غير قابل للتجزئة، ولذلك فإن الموجتين المركبتين له هما موجتان جزئيتان كما هو الحال في الشعاع ذي المركبتين (شكل ١٦ ــ آ). إن هذا يتضمن أن الفوتون ذاته موجود في حالتين

متراكبتين معاً في آن واحد، والشدة النسبية لموجة احتمال كل منهما هي التي تحدد احتمال عبور الفوتون للمقطب. يجب أن نلاحظ هنا أن الشدة النسبية لكل من هاتين الحالتين البديلتين إنما تتبع بشكل كامل للمجرب ذاته الذي يمكن أن يختار أن يضع المقطب كما يشاء. إن كل هذا يعني أن اللاحتمية في العالم الصغري ليست مجرد أننا لا نستطيع معرفة اتجاه استقطاب الفوتون، وإنما أن مفهوم كون الفوتون في حالة استقطاب محددة هو مفهوم غير ذي معنى. فالارتياب موجود في جوهر الفوتون ذاته كما هو الأمر بالنسبة للالكترون الذي لا يمكن نسب موضع محدد له. إن الارتياب في موضع الالكترون لا يعني أن الالكترون موجود فعلاً في مكان ما أو آخر لا يمكننا معرفته، بل يعني أن مفهوم وجود الالكترون في مكان محدد أمر لا معنى له.

بالعودة إلى مفهوم الفضاء العظيم، يمكننا النظر إلى الموجتين الفوتونيتين على أنهما تمثلان عالمين مختلفين، في أحدهما يقبل المقطب الثاني الفوتون ويسمح له بالمرور، وفي الآخر يرفضه. ويمكن لهذين العالمين، فوق ذلك، أن يكونا مختلفين كلياً في خصائصهما، ذلك أن الفوتون إذا عبر المقطب، وبذلك يكون في العالم الأول، قد يذهب لقدح صمام تفجير قنبلة هيدروجينية لا تبقي حولها ولا تذر، في حين أنه إذا لم يعبره، وهذا يمثل العالم الآخر، فإن القنبلة لن تنفجر. على أي حال، وهذا هو بيت القصيد في التحليل السابق، ليس هذان العالمان عالمين حقيقيين مستقلين أحدهما عن الآخر. إنهما ليسا هذا أو ذاك، وإنما هما عالمان متراكبان متداخلان معاً، فالآثار الناجمة عن تداخل الموجتين المتراكبتين تدلان على أن العالمين يكونان متمازجين مع بعضهما قبل أن يقرر المقطب مصير الفوتون. فقط عندما يتخذ المقطب قراره بإمرار أو عدم إمرار الفوتون، ينقلب هذان العالمان إلى خيارين منفصلين لتمثيل العالم الحقيقي، وبذلك يكون أثر عملية القياس، باستخدام المقطب الثاني هو فصل أحد العالمين المتمازجين عن الآخر، وإحالتهما إلى خيارين مستقلين للحقيقة.

لقد توصلنا الآن إلى أخذ فكرة عن طبيعة الحقيقة بما يتفق مع التفسير المعهود لنظرية الكم، إلا أن هذه الفكرة ليست سوى ظل شاحب لصورة الحس العام. فاللاحتمية في العالم الصغري ليست نتيجة جهلنا بالتفاصيل الدقيقة (كما هي الحال في التنبؤ بالطقس)، بل هي شيء مطلق. إننا هنا لسنا أمام خيارين بديلين كخياري قطعة النقد التي تبيح أحدهما، بل نحن أمام مزيج من البديلين، وليس هناك من معنى في نسب وجود حقيقي لأي منهما إلا بعد أن تتم عملية الرصد، حيث يتحولان إلى عالمين مستقلين فيما بينهما. وحسب رأي نيلز بور (Niels Bohr)، وهو أحد

الرواد الأوائل في نظرية الكم، هناك حدود أساسية في الفيزياء الذرية للوجود الموضوعي للظواهر بشكل مستقل عن عملية رصدها. ففقط عندما تحدث عملية الرصد تستحيل الازدواجية تلك إلى ما يمكن أن يعتبر حقيقياً بأي معنى.

لقد بينّا في الفصل السابق كيف أن العالم الذي نرى إنما هو شريحة أو مسقط من فضاء عظيم ذي عدد لا نهائي من الأبعاد ــ أو قُلْ تشكيلة لا نهائية العدد من العوالم المتاحة ــ. ونرى الآن أن العالم الذي نرصده ليس مجرد انتقاء عشوائي من عوالم الفضاء العظيم، وإنما يعتمد بشكل جوهري على كل العوامل الأخرى التي لا نراها. فكما أن الترابط بين المقطبين المفصولين بمسافة كبيرة يعتمد على التداخل بين عالمي القرار الممكنين، تترك العوالم الأخرى، التي لم تتحول بتاتاً إلى عوالم حقيقية، بصماتها على عالمنا وذلك بمشاركتها في تحديد احتمالات جميع الفعاليات في كل ذرة وفي كل لحظة من لحظات الزمن. وبدون تلك العوالم الأخرى قد يُخفق الكم ويتفكك الكون؛ إن هذه البدائل المرشحة لاعتلاء منصة الحقيقة هي التي تساعدنا في تحديد مصيرنا.

لا تأخذ الحقيقة معنى، بموجب هذه الأفكار، إلا ضمن إطار الملاحظة والرصد. إنه ليس من الممكن أن نقول إن ذرة أو الكتروناً أو فوتوناً يتصرف بطريقة معينة إلا بعد أن نرصدها ونجري القياس عليها. والحقيقة الوحيدة في هذا الكون هي الأشياء بكليتها من الجسيمات الذرية إلى وسائل القياس وإلى المجرب ذاته الذي يعتبر بوعيه جزءاً أساسياً من الوجود الحقيقي؛ ذلك لأنه إذا اختار، مثلاً، أن يُدَوِّر المقطب فإنه سوف يغير الخيار أمام العوالم البديلة في التحول إلى حقيقة. وفي كل مرة يحرك فيها امرؤ على عينيه نظارات استقطابية رأسه، يقوم بتغيير الخيارات بين عوالم الفضاء العظيم، إذ أنه يمتلك الحرية في أن يختار عالماً فوتوناته مستقطبة في المنحى شمال ــ جنوب أو شرق ــ غرب أو أي منحى آخر يروق له.

من هذا ينتج أن المراقب منغمس في تحديد الحقيقة على نحو أساسي وجوهري: فباختياره للتجربة يختار مجموعة من العوالم المتاحة، وعندما يغير رأيه فإنه يغير ما ينتخبه من تلك العوالم. لا يستطيع المجرب بالطبع أن ينتزع بالضبط العالم الذي يريده، لأن العوالم ما تزال تخضع لقواعد الاحتمال، إلا أنه يستطيع أن يؤثر في الخيارات الممكنة. بكلمات أخرى، لا يمكننا التحكم بحجر النرد ليأتي كما نشتهي، إلا أننا نستطيع أن نقرر اللعبة التي نشاء.

لقد أصبح من الواضح الآن أن مشاركة الراصد في تحديد حقيقته الذاتية هي أكثر وأبعد

عمقاً منها في الصورة التي رسمتها النيوتنية للعالم، والتي لا تعدو علاقته بالحقيقة فيها أكثر من كونه مجرد آلة ميكانيكية عمياء محكومة تصرفاتها كلياً بقوانين الطبيعة. فالصورة الكمومية تنطوي على لاحتمية متأصلة، ولا يمكن لحقيقة ما أن تظهر إلا في ظرف معين من الرصد والملاحظة. فبعد أن يتم تحديد الظرف التجريبي (تحديد الزاوية التي نختارها للمقطب مثلاً)، وفقط بعدئذ، يمكن معرفة الخيارات الممكنة للحقيقة. ومن هذا المنطلق يعتقد بعض العلماء أن نظرية الكم، بعد أن أطاحت بالصورة النيوتنية الميكانيكية لكون مأهول بمراقبين آليين لا يملكون من أمرهم شيئاً، قد أعادت لمفهوم الإرادة الحرة مكانته في هذا الوجود. لكن، إذا كان المراقب يختار بشكل ما حقيقته هو بالذات، أفلا يعني ذلك حرية اختيار وقدرة على ترتيب العالم تبعاً لما نهوى؟ على الرغم من أن الجواب قد يكون إيجابياً، علينا أن نتذكر أن الراصد (المجرب) في نظرية الكم غير قادر عموماً على تحديد ناتج تجربة معينة. فكما بينا منذ قليل، الخيار الوحيد الذي نملك يشتمل على شتى البدائل المتاحة، لا على البديل الذي حصل فعلاً. أي أننا نستطيع أن نقرر خلق عالم تكون فيه بعض الفوتونات مستقطبة شمالاً ــ جنوباً أو شرقاً ــ غرباً، أو عالم سواه تكون فيه مستقطبة في المنحى شمال شرقي ــ جنوب غربي أو شمال غربي ــ جنوب شرقي... الخ؛ لكننا لا نستطيع أن نختار أياً من الإمكانيتين للحصول في كل حالة. إنه ليس بإمكاننا إرغام فوتون ذي استقطاب عشوائي على أن يستقطب شمالاً ــ جنوباً لا شرقاً ــ غرباً، لأننا لا نستطيع إجباره على المرور عبر مقطب يتجه منحاه الخاص شمالاً ــ جنوباً؛ وعلى غرار ذلك، يمكننا أن نختار قياس إما موضع الجسيم أو اندفاعه، لا كليهما معاً. وبعد الانتهاء من عملية القياس فقط سيمتلك الجسيم قيمة محددة تماماً لأحد المقدارين، وذلك تبعاً لاختيارنا نوع التجربة.

يبدو الآن أننا قد توصلنا إلى صورة يبقى فيها الكون في حالة عائمة معلقة إلى أن يأتي من يقوم بعملية رصد أو ملاحظة تنهار بها تلك الحالة المبهمة فجأة لتتحول إلى حقيقة واقعة. والأكثر من هذا، وكما بينت المناقشة السابقة حول ترابط الفوتونين المنطلقين باتجاهين متعاكسين، ليس التحول إلى حقيقة أمراً محلياً (في المختبر مثلاً) فحسب، بل هو يحصل فجأة وآنياً في بقاع نائية أخرى من الكون. ولما كانت نظرية النسبية تُنبئ بأن المراقبين المختلفين لا يتفقون على تزامن الحوادث وآنيتها، فإن الشروع في التحول إلى حقيقة يبدو أمراً شخصياً بحتاً، وبالتالي يستحيل علينا أن نستخدم هذا التحول كوسيلة لنقل المعلومات آنياً من راصد لآخر بعيد عنه.

إن انتقال الإشارات بسرعة تزيد عن سرعة الضوء يؤدي، بموجب نظرية النسبية، إلى تدمير

الترابط السببي في الكون، إذ أن حدوث ذلك لا يؤدي فقط إلى إمكانية إرسال إشارات إلى الوراء في الزمن من وجهة نظر مراقب آخر، بل وحتى إلى اتصال المرء بماضيه. إن مثل هذه الإمكانية تقود إلى مفارقة مروعة تتجلى في آلة انتحارية تُبرمج لتدمر نفسها في الساعة الثانية إذا استقبلت إشارة ما في الساعة الواحدة كانت قد أرسلتها هي بذاتها في الساعة الثالثة. فإذا دمرت الآلة نفسها في الساعة الثانية، فإنها لن تستطيع أن ترسل إشارة في الساعة الثالثة وبالتالي لن تستقبل أي إشارة ولن تدمر نفسها. لكن إذا لم يتم التدمير، فسترسل الآلة الإشارة في الساعة الثالثة وتستقبلها في الواحدة ويحصل التدمير. من الواضح أن في هذا تناقضاً جلياً يمنع الإشارة من صعود سلم الزمن إلى الوراء، فلا يتاح لها بالتالي أن تنتقل بأسرع من الضوء.

رأينا في حالة الكم، أن مرور فوتون عبر مقطب في مكان ما يضمن مرور فوتون آخر عبر مقطب آخر في مكان يبعد عن الأول ربما بملايين الكيلومترات، وهذا يمكن أن يحدث آنياً مع الأول أو ربما قبله (بالنسبة للمراقب نفسه). لكن وعلى الرغم من هذه الخاصة المدهشة، ليس للمراقب أي سيطرة على فوتون مفرد ما بسبب الارتياب الكمومي، مما لا يتيح له أن يتفاهم مع مراقب بعيد عنه (عند المقطب الآخر) على أن مرور ثلاثة فوتونات متتالية، مثلاً، يعني أن فريق إفرتون (Everton) قد ربح كأس أندية بريطانيا. فمرور الفوتون محكوم أولاً وآخراً بقواعد الاحتمال، ولا يمكن للمراقب أن يجبره ويجبر بالتالي قرينه على النفاذ عبر المقطبين. وبذلك تبقى نظرية النسبية بعيدة عن الشبهة، ويبقى نقل المعلومات بسرعة تزيد عن سرعة الضوء أمراً ترفضه الطبيعة.

هذا وعلى الرغم من أن الجمل الفيزيائية المتباعدة، كالفوتون والمقطبين مثلاً، لا يمكن أن تترابط فيما بينها بأي نمط من أنماط أقنية الاتصال التقليدية، فإنها ليست أيضاً كينونات منفصلة بعضاً عن بعض. فالمقطبان، حتى ولو كان كل منهما في مجرة وحده، يظلان تركيباً تجريبياً واحداً، و وجهاً واحداً للحقيقة. إننا في الحس العام، نعتبر أن للشيئين هويتين منفصلتين إذا كان بينهما مسافة تجعل تأثيرهما المتبادل مهملاً، كما هي الحال بالنسبة لشخصين أو كوكبين مثلاً، حيث يعتبران وحدتين منفصلتين لكل منهما خصائصها ومواصفاتها الذاتية. لكن على النقيض من ذلك، توحي نظرية الكم بأن الجملة لا يمكن أن تعتبر، قبل نفاذ عملية الرصد على الأقل، مجموعة مفردات مستقلة، بل هي كل واحد غير قابل للتجزئة. فالمقطبان وفوتوناهما ليسا جملتين فيزيائيتين معزولتين بخصائص مستقلة لكل منهما، وإنما هناك ترابط خفي عبر فعاليات الكم بينهما. وبعد أن تتم علمية الملاحظة فقط يمكن أن نعتبر أن الفوتون البعيد قد اكتسب هوية منفصلة و وجوداً

مستقلاً. والأكثر من هذا، فقد رأينا أنه لا معنى لإضفاء خصائص محددة على جملة ذرية في غياب التركيب التجريبي الدقيق. فنحن لا نستطيع أن نقول مثلاً إن للفوتون هذا الاستقطاب فعلاً أو ذاك قبل أن نقوم بالقياس. إنه لخطأ كبير أن نعتبر الاستقطاب خاصة من خصائص الفوتون بالذات، بل هو بالأحرى خاصة يجب أن تضفى على الفوتون والتركيب التجريبي المحسوس معاً. ومن هذا ينتج أن ليس لعالم الصغائر من خصائص إلا بما يشترك به مع عالمنا المحسوس.

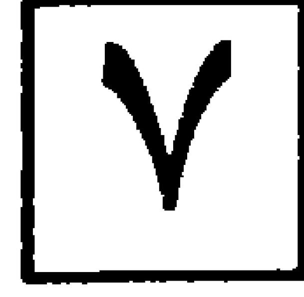
إن التحدي الفعلي لصورة الحقيقة في حسنا العام يظهر عندما نأخذ الطبيعة الذرية لكل المادة في الكون بعين الاعتبار. قد نشعر بأن نتائج تلك التجارب المملة بغموضها وجفافها لا تمت بصلة ذات قيمة إلى حياتنا اليومية؛ ومع ذلك فإن الأشياء كافة من حولنا تتكون من ذرات وتخضع إلى مبادئ الكم. ففي حفنة صغيرة من المادة العادية لا تزيد في حجمها عن حجم الكشتبان، هناك عدة آلاف من مليارات المليارات من الذرات، كل منها تتصادم وتتفاعل ملايين المرات في الثانية. وتبعاً للأفكار المطروحة هنا، ولدى تفاعل جسيمين ذريين ثم انفصالهما، لا يمكن اعتبار كل منهما شيئاً حقيقياً مستقلاً، وإنما هناك ترابط بينهما قد يكون أكثر تعقيداً من ترابط الفوتونين الذي أتينا على ذكره. ومن هذا ينتج أن جميع الجمل الكمومية، عبر الكون كله، مترابطة معاً بذلك الأسلوب الغريب لتكوّن مجموعة عملاقة غير قابلة للتجزئة. إن اعتقاد قدماء الإغريق بأن المادة مصنوعة من ذرات ذات وجود إفرادي مستقل، لا يمثل، على ما يبدو، سوى تبسيط مفرط، لأن الذرات نفسها ليست حقيقية بمفرداتها، ولا تأخذ حقيقتها أي معنى إلا في ظروف أرصادنا العيانية المحسوسة. إلا أن أرصادنا محدودة جداً؛ أولاً بسبب صغر الركن الذي نحتله من الكون، وثانياً بسبب عدم تمكننا من ملاحظة الذرات نفسها إلا نادراً وفي ظروف خاصة. من هذا يبدو أننا قد وصلنا إلى تصور لا يمكن فيه اعتبار الغالبية العظمى من الكون على أنها حقيقة بالمعنى المألوف للكلمة. لقد ذهب الأمريكي جون ويلر (John Wheeler) إلى أبعد من ذلك حين ادعى أن المراقب نفسه يخلق ـــ بكل ما تحمل الكلمة من معنى ـــ الكون من خلال أرصاده:

هل تكون آلية ظهور الكون إلى الوجود عديمة المعنى أم مستعصية على الفهم أم كليهما معاً، إذا لم يُقدَّر لهذا الكون أن ينتج الحياة والوعي والقدرة على الملاحظة في مكان ما ولبعض الزمن من تاريخه؟ إن مبادئ نظرية الكم تبين أن هناك معنى للاعتقاد بأن ما سوف يفعله المراقب في المستقبل يحدد ما يحصل في الماضي، حتى في الماضي البعيد، حين لم تكن هناك حياة على الإطلاق، وتُري فوق ذلك أن الملاحظة ذاتها شرط ضروري مسبق لوجود أي شكل للحقيقة ذي مغزى.

غني عن القول أن هذه الأفكار الجذرية التي تنطوي عليها نظرية الكم حول طبيعة الحقيقة قد أثارت الكثير من الجدل على مدار عدة عقود من الزمن. فبينما لا يوجد أدنى شك في النجاح الكبير الذي أصابته النظرية على الصعيد العملي والتطبيقي، تبقى مضامينها، على صعيد نظرية المعرفة الميتافيزيائية، مثار قلق مستديم. إن الأفكار والتفسيرات التي قدمناها في هذا الفصل تعود بشكل رئيسي إلى بور (Bohr)، أحد واضعي أسس الكم، وتعرف باسم تفسير كوبنهاغن، نسبة إلى جماعة بور في الدانمارك، وهو على الأرجح التفسير الذي يعتنقه معظم الفيزيائيين. ومع ذلك يوجد من العلماء من يرى أن الأفكار التي ينطوي عليها هذا التفسير خادعة أو ناقصة أو عديمة المعنى. فألبرت آينشتاين، بشكل خاص، كان يرى أن النظرية ناقصة، لأنه لم يستطع أن يقبل أن فوتوناً ومقطباً بعيدين يمكن أن يتأثرا بسلوك فوتون ومقطب قريبين. إذ كيف يمكن للمقطب البعيد أن يعرف ما إذا كان عليه أن يقبل فوتوناً أو يرفضه إذا لم تكن هناك إشارة ترد من المقطب الأول تدل على ذلك، فتخرق بالتالي نظرية آينشتاين نفسه بسبب تحركها بسرعة تزيد عن سرعة الضوء؟.

رداً على اعتراض آينشتاين يقول بور بأن الجمل الصغرية لا تتمتع بأي خصائص فطرية على الإطلاق، ولذلك لن يكون ضرورياً أن نهتم بوجود حالة يرسل فيها فوتون إشارة إلى الآخر، لأن الفوتون في عزلته لا يمتلك أصلاً حالة ذات معنى: إن التجربة برمتها فقط هي التي لها معنى. لقد اقترح بور أن الحقيقة الصحيحة هي فقط ما يمكن تبادله بين الناس بالكلام العادي المباشر، كوصف نبضة في عداد غايغر أو مرور فوتون عبر مقطب مثلاً، وأي مناقشة لما يفعله فوتون أو ذرة في الحقيقة يجب أن يأتي ضمن إطار تجربة فعلية كاملة.

على الرغم من الترحيب الواسع بتفسيرات كوبنهاغن، وعلى الرغم من حجج بور السديدة، ظل بعض الفيزيائيين يرون في تلك الأفكار أشكالاً من الألغاز والأحاجي لأنها تجعل من المفاهيم التقليدية لوسائل القياس والتجربة أساساً للحقيقة في الوقت الذي انتقدت فيه نظرية الكم هذه المفاهيم. فبما أن الفيزياء النيوتنية التقليدية، أي فيزياء المحسوس الذي تعبر عنه اللغة المحكية والتي يرغب بور باستخدامها، قد وجدت غير صحيحة من وجهة نظر الكم، يكون استخدام لغة الكلام العادي لوصف العالم الصغري أمراً متناقضاً مع نفسه. في الفصل القادم، سنرى تفسيرات بديلة أخرى لنظرية الكم لا تقل غرابة في مضامينها عما قدمناه.



العقل والمادة والعوالم المتعددة

لقد رأينا كيف زعزعت فيزياء الكم مفاهيم الحس العام حول الحقيقة الموضوعية و وضعت المراقب نفسه مع تجاربه في الموضع المركزي لدى تعريف أي شكل ذي مغزى لمفهوم العالم الحقيقي. إلا أنه مازال هناك بعض الغموض حول ماتعنية كلمة مراقب وفي ماهية الفعاليات الفيزيائية المتضمنة في عملية الرصد التي يقوم بها هذا المراقب. إن تفسير كوبنهاغن كثيراً مايلجأ إلى استخدام عبارة وسائل التجربة، فما هي هذه الوسائل بالتحديد؟.

يحتوي مخبر الفيزياء عادة على كثير من الأدوات التي تُستخدم لسبر بنية الذرات ومكوناتها الداخلية، ومن هذه الأدوات ماهو مألوف للكثيرين، كأجهزة الأشعة السينية وعدادات غايغر والمسرِّعات العالية الطاقة وألواح التصوير الحساسة... وغيرها. إن كل هذه الأدوات، ناهيك عن الفنيين العاملين في المخبر، مصنوعة من ذرات، ولذلك فهي الأخرى لا بد معرضة لارتيابات صغيرة هي السمة الرئيسية في فيزياء الكم، كما أقر بذلك بور نفسه. في الواقع، ليس هناك من حد فاصل بين ماهو جملة صغرية وبين ماهو أداة قياس عيانية محسوسة، فالفعاليات الكمومية يمكن أن تُرصد في جزيئات تحتوي كثيراً من الذرات، وقد تتجلى أيضاً حتى في المقادير المحسوسة والمرئية من السوائل والمعادن مثلاً. فظاهرة الناقلية الفائقة (super conductivity) التي تتمتع بها المعادن، حيث تتحد الالكترونات في أزواج تتعاون على خلق تيار كهربائي لا يعاني أي مقاومة، هي مثال للأثر الكمومي على صعيد التقنية الهندسية، أي في مجال المحسوس. لذلك تجدنا لا نستطيع أن نشير إلى شيء ما ونقول هذا صِغْري يخضع لظواهر الكم، وهذا كِبْري يخضع لفيزياء نيوتن التقليدية.

يبدو أن هناك مفارقة ستحيط بفعل القياس لو كانت كل الجمل في النهاية ذات طبيعة كمومية. لتوضيح الفكرة، دعنا نأخذ مثالاً بسيطاً يتضمن رصد الإشعاع النووي الصادر عن نوى بعض الذرات. تشع هذه النوى عادة جسيماً أو أكثر أصغر منها واحداً تلو الآخر، ويتم عادة كشف هذه الجسيمات بوساطة عداد غايغر الذي يعطي نبضة صوتية كلما صادف واحداً منها. فعندما يُصَوِّت العداد تكون الذرة قد أصدرت جسيماً، وإلا فإنها تبقى سليمة كما هي. بدلاً من التصويت، قد يحتوي العداد على مؤشر يتحرك أمام تدريج؛ فإذا كانت وضعية المؤشر في الحالة الابتدائية هي النقطة آ على التدريج، ثم انتقل المؤشر إلى الوضعية ب، نعلم عندئذ أن جسيماً قد صدر، ومن ذلك نستنتج أن نواة الذرة قد تفككت. لذلك، تترابط وضعية المؤشر على سلم تدريجاته مع حالة النواة على نحو بسيط: فبملاحظة المؤشر نكون عملياً قد رصدنا النواة.

إن كل أشكال القياس والملاحظة تتضمن العنصرين التوأمين المذكورين واللذين يمثلان جزءاً لا يتجزأ من عملية الرصد: ترابط الشروط الصغرية للجملة المدروسة مع بعض حالات أداة القياس القابلة للتمييز بوسائل الحس العادية، وتضخيم الآثار الكمومية الضئيلة لإنتاج تغير ملموس كانحراف المؤشر مثلاً. حسب نظرية الكم، يجب وصف الحالة الصغرية للجملة الفيزيائية بتراكب مجموعة موجات، كل منها تمثل قيمة محددة لمقدار معين كموضع جسيم وحركته وسبينه واستقطابه، مع الأخذ بعين الاعتبار أن الموجات المتراكبة لا تمثل هنا مجموعة بدائل لشيء واحد، وإنما هي تراكب فعلي لحقائق ممكنة. أما تحديد الحقيقة الواقعة فيتم فقط عندما تتم عملية قياس تلك المقادير، وهذا هو بيت القصيد. فبما أن أداة القياس مصنوعة من ذرات، فهي أيضاً يجب أن توصف بموجة مكونة من تراكب جميعَ حالاتها الممكنة؛ وتبعاً لذلك، يجب أن يكون عداد غايغر، مثلاً، في حالة تراكب للوضعيتين آ و ب (مؤشر غير منحرف ومؤشر منحرف)، مع الانتباه إلى أن ذلك لا يعني أن العداد موجود في إحدى الحالتين (إما منحرف أو غير منحرف)، بل في كل منهما على نحو انفصامي غير مألوف. فكل من الحالتين تمثل حقيقة بديلة تتولد عن تفكك النواة، لكن هذه الحقائق ليست فقط متواجدة مع بعضها وإنما أيضاً تتفاعل وتتداخل حسب ظاهرة التداخل الموجي.

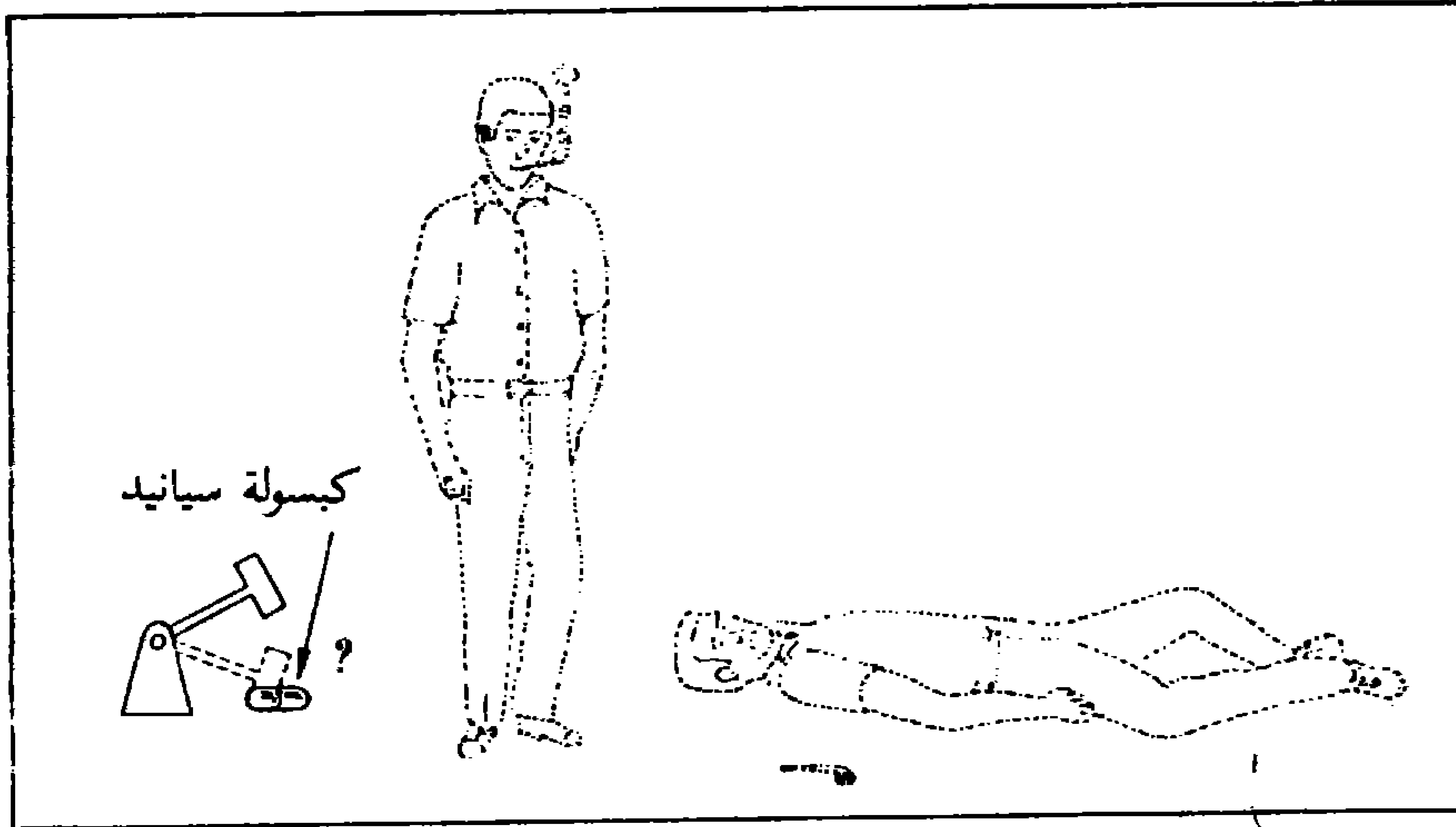
إن السبب في عدم تمييزنا لتراكب الحقائق الأخرى مع الحقيقة التي ندركها هو أن أثر التداخل بين تلك الحقائق صغير جداً وغير قابل للتمييز في خضم الحجم الهائل نسبياً لأدوات القياس. فبينما تصول العوالم المتراكبة المختلفة وتجول وتتفاعل مع بعضها بشكل عميق على صعيد

الكيان الداخلي للذرة، فإن تأثير بعضها في بعض يكاد يكون معدوماً في سلم الحياة اليومية؛ لكن ليس كلياً. مع ذلك، وإذا كنا نعتقد فعلاً بأن نظرية الكم تنطبق على الأجسام المحسوسة كما تنطبق على العالم الصغري، فإننا يجب أن نعترف بأن هذه التأثيرات المتبادلة بين العوالم المتراكبة، على ضآلتها، موجودة أيضاً في عالم إدراكنا العادي. عندئذ، وأمام محنة المبادئ الخطيرة التي أتت بها نظرية الكم، يجب أن لا تكون ضآلة تلك الآثار عائقاً أساسياً في وجه إخراج المبادئ من محنتها، وذلك لأنه يمكننا من حيث المبدأ على الأقل، كشف تلك الآثار وإدخالها في الحسبان بواسطة أدوات قياس إضافية معقدة.

يبدو الكون، في الصورة التي رسمناها حتى الآن، كتراكب حقائق في فضاء عظيم أشمل؛ حقائق تنفصل إلى عوالم بديلة مستقلة بمجرد إجراء عملية الرصد عليها. وهنا نرى أن آلية انفصال هذه العوالم فيما بينها ليست فعالة تماماً وأن بعض الخيوط الدقيقة تبقى لتصل بين عالمنا والعوالم الأخرى من ذلك الفضاء العظيم. فالانفصال لا يكون تاماً، ولا تكون الحقيقة موضوعية تماماً، إلا حين تكون أداة القياس حرة من آثار الكم، وإلا سيظل هناك دائماً تفاعل متبق، وإن كان ضئيلاً، بين العوالم المختلفة. لكن هل هناك من أداة قياس لا تخضع إطلاقاً لمظاهر الكم؟ لو وُجدت مثل هذه الأداة لأصبح ممكناً عندئذ خرق قواعد الكم، وإذا لم توجد فلن تكون هناك حقيقة موضوعية!. فهل من مخرج من هذا المأزق: مأزق الحقيقة؟.

في الثلاثينيات قام الرياضي جون نويمان (John Von Neuman) بتحري مسألة القياسات في مجال الكم بتفصيل كبير، وتوصل، بمحاكمة رياضية، إلى أنه عندما يتم الاتصال بين أداة القياس المحسوسة والجملة الصغرية موضوع الاهتمام، يؤدي هذا الاتصال بالجملة للتصرف وكأن آثار التداخل بين العوالم المختلفة ليست موجودة. وبتعبير آخر، تبدو حالة الجملة الصغرية وكأنها تتحول من مجموعة من الحالات المتراكبة المتداخلة إلى مجموعة من الإمكانيات البديلة المستقلة. لكن هذا التحليل لا يبلغ، مع الأسف، مرتبة البرهان على التحول إلى حقيقة، إذ أن إحدى نتائج اتصال أداة القياس مع الجملة الصغرية هي انتقال آثار التداخل إلى أداة القياس عينها المكونة من الذرات أيضاً، وبالتالي، ولكي تتحول تلك الأداة إلى حقيقة يجب إجراء عملية قياس أخرى عليها، الأمر الذي يتطلب أداة قياس ثانية تقيس حالة الأولى. إلا أن ما ينطبق على أداة القياس الأولى ينطبق أيضاً على الثانية، وهذا يعني لزوم أداة قياس ثالثة ثم رابعة... وهكذا دواليك إلى ما شاء الله.

فأين تتوقف هذه السلسلة؟ لقد لفت إروين شرودنغر، مخترع النظرية الموجية في ميكانيك الكم، النظر إلى أحجية اشتهرت باسم مفارقة القطة. لنفترض أن الجملة الصغرية موضوع الاهتمام تتألف من نوى بعض الذرات المشعة التي قد تتفكك (فتصدر أشعة نووية) أو لا تتفكك بعد مدة زمنية مقدارها دقيقة واحدة مثلاً، وذلك تبعاً لقوانين الاحتمال الكمومية. يتم كشف التفكك (أي الإشعاع) بواسطة عداد غايغر متصل بدوره بمطرقة على نحو يجعلها تسقط وتحطم كبسولة حاوية على مادة السيانيد السامة عندما تصدر نواةٌ جسيماً يَرِد على العداد. لنضع الآن المجموعة بالكامل (الذرات المشعة والعداد والمطرقة وكبسولة السيانيد) مع قطة في صندوق مغلق. عندئذ، وبعد دقيقة واحدة، سيكون هناك احتمال مقداره خمسون بالمئة لصدور الإشعاع من إحدى النوى، وبالتالي لسقوط المطرقة الذي يؤدي بدوره إلى تحطم كبسولة السيانيد السام ومن ثم إلى موت القطة. وبتعبير آخر، هناك احتمال مقداره خمسون بالمئة لموت القطة بعد دقيقة واحدة من إغلاق الصندوق. لنفترض الآن أنه يتم تعطيل الآلية تماماً بعد مضي الدقيقة: فهل تكون القطة حية عندئذ أم ميتة؟.



شكل ١٨: مفارقة صديق ويغنر:

تستطيع المطرقة التي يتحكم بها الإشعاع النووي أن تكسر كبسولة السيانيد السام باحتمال محدد. فهل يكون الرجل ميتاً أم حياً بعد فترة محددة؟ ماتقوله نظرية الكم هو كلا الأمرين، بمعنى أن كلا العالمين يتراكبان ويتواجدان معاً على قدم المساواة. فقط عندما ينظر ويغنر إلى محتويات الصندوق ينفصل العالمان ويتحول واحد منهما إلى حقيقة. لكن، بماذا كان يشعر صديقه وهو في تلك الحالة العائمة المعلقة قبل أن يتفضل ويطلع على حالته؟

حسب الحس العام، هناك احتمال مقداره خمسون بالمئة لأن تكون القطة حية، وخمسون بالمئة لأن تكون ميتة؛ فإذا أخذنا بتحليل نويمان وقبلنا بأن الموجتين المتراكبتين اللتين تمثلان النواة في حالتي تفككها وعدم تفككها، مرتبطتان بالموجتين المتراكبتين الممثلتين لحالتي القطة (موت أو حياة)، فإن إحدى هاتين الموجتين ستمثل عندئذ حالة: القطة حية، بينما تمثل الأخرى حالة: القطة ميتة. لكن هاتين الموجتين موجودتان كلاهما ومتداخلتان (ولو قليلاً) إحداهما مع الأخرى، وبالتالي فإن حالة القطة بعد مرور الدقيقة لا يمكن أن تكون، بسبب هذا التراكب، إما حية وإما ميتة (وإنما كلا الأمرين معاً). ومن ناحية أخرى، ما هو المعنى الذي يمكن أن نعطيه لعبارة: قطة حية ــ ميتة؟.

يبدو، في الظاهر، أن القطة تدخل واحدة من تلك الحالات الانفصامية المعلقة المبهمة التي ناقشناها في الفصل السابق، وأن مصيرها لا يتقرر إلا عندما يفتح المجرب الصندوق ويرى بأم عينه حالة القطة. لكن لما كان المجرب يستطيع تأجيل تنفيذ هذه الخطوة الحاسمة بقدر ما يرغب، فإن على القطة أن تبقى في حالتها المعلقة حتى يخطر للمجرب أن يفتح الصندوق فيخرجها من محنتها واهباً لها الحياة ثانية أو مشيعاً إياها إلى مثواها.

إن الجانب غير المرضي في هذا التحليل هو أن القطة ذاتها قد تعرف ما إذا كانت حية أو ميتة قبل أن يُفتح الصندوق بوقت طويل. هنا يمكن أن يعترض المرء على هذا بحجة أن القطة ليست راصداً بكل معنى الكلمة، لأنها لا تدرك تماماً مغزى وجودها كما يفعل الإنسان، وبالتالي لا يكون هناك معنى لمعرفتها بأنها كانت حية أم ميتة أم حية ــ ميتة. للرد على هذا الاعتراض يمكن إبدال القطة بشخص متطوع يحل محلها. يُعرف مثل هذا الشخص عادة لدى مجتمع الفيزيائيين باسم صديق ويغنر (Wigner's Friend)، نسبة إلى الفيزيائي ويغنر الذي قام بمعالجة هذه المفارقة بالتفصيل (شكل ١٨). فبوجود مثل هذا الشريك الواعي ضمن الصندوق، يمكننا أن نسأله، إذا وجدناه حياً بعد فتح الصندوق، عما كان يشعر به قبل فتحه. مما لا شك فيه، سيكون جوابه: لا شيء، على الرغم من أن من المفروض أن جسمه كان في حالة حية ــ ميتة طوال مدة التجربة والتي تحول بعدها ثانية إلى حالة الحياة التامة. (يشكو بعض الناس أحياناً من شعورهم بأنهم نصف أموات، إلا أن من الصعب تصور وجود علاقة لظاهرة التداخل الكمومي في مثل هذه الحالات).

إذا أصررنا على التمسك بمبادئ الكم بحرفيتها مهما كان الثمن، فإننا سنكون قد دفعنا إلى هاوية الأنا الفردية: إلى أن يستنتج الفرد (وهو القارئ هنا) أنه هو الموجود الحقيقي الوحيد، وأن

كل شيء سواه ليس أكثر من آلة غير واعية تقتصر مهمتها على تكميل المشهد. عندئذ، ولو كان صديق ويغنر مجرد إنسان آلي، لما أمكن الاعتماد عليه في شرح شعوره بصدق، لأنه لا يملك بحق أي شعور، وفي هذا قفزة كبيرة، لأنها تضع الراصد في مركز الحقيقة على نحو أشد جوهرية مما قبلنا به حتى الآن. لتفادي السقوط في الأنانية المفرطة، يرى ويغنر أنه لا يمكن لنظرية الكم أن تكون صحيحة في جميع الظروف: فعندما يكون وعي المراقب جزءاً من التجربة، تنهار النظرية، ويصبح وصف العالم، على أساس أنه مجموعة من الأمواج المتداخلة، أمراً غير مشروع. لقد حظيت الأنانية بحظها من الأنصار على مر العصور، لكن معظم الناس لا يستسيغونها، و ويغنر واحد منهم. ففي تفسير ويغنر لنظرية الكم، يلعب عقل الكائنات الواعية دوراً أساسياً في قوانين الطبيعة وفي ترتيب الكون، وذلك لأنه عندما تدخل المعلومات الناتجة عن الملاحظة إلى وعي المراقب، وحينئذ فقط، ينهار تراكب الأمواج ليتحول إلى حقيقة. وهكذا، وبمعنى ما، يكون مشهد الوجود الكوني برمته قد خُلق من قِبل ساكنيه. وتبعاً لنظرية ويغنر هذه، لم يكن العالم موجوداً بشكل حقيقي قبل أن تكون هناك حياة ذكية، وهذا ما يضع مسؤوليات كونية جساماً على كاهل الكائنات الواعية للحفاظ على وجود كل شيء في الكون؛ إذ لو قُدِّر للحياة أن تنتهي، لامتنع على الأشياء كافة ــ من أصغر جسيم ذري إلى أبعد نجم في عمق الكون ــ أن تتمتع بالوجود الحقيقي المستقل، ولغرقت جميعها في بحر الأمواج المتداخلة المتراكبة. إن هذا الدور الذي يتمتع به المراقب الواعي هو الذي يُمكِّن صديق ويغنر الموجود في الصندوق من أن يحيل محتويات الصندوق ــ بما فيها هو نفسه ــ إلى الوجود الحقيقي، بحيث أنه عندما يفتح ويغنر الصندوق ويسأله عما كان يشعر به خلال اللحظات السابقة، سيأتي جوابه على الفور في أنه كان في حالة جيدة، معتمداً في إجابته على أنه كان حتماً في حالة وجود حقيقي، دون الحاجة إلى ويغنر لكي يفتح الصندوق ويلاحظه، وبالتالي يحيل جسمه وعقله إلى حقيقة.

لقد تعرضت أفكار ويغنر، كما كان متوقعاً، إلى الانتقاد الواسع. فالوعي ذاته، في أحسن الأحوال، غير مُعرَّف بشكل محدد لدى العلماء (هل تعي الحيوانات مثلاً؟)، وهو في أسوئها غير ذي وجود فيزيائي. لكن مع ذلك، يجب الاعتراف بأن ملاحظاتنا كافة، وبالتالي كامل علومنا، تقوم أساساً على إدراكنا للعالم من حولنا. إن الوعي، كما يُعتقد غالباً، يمكن أن يتأثر بالعالم الخارجي، إلا أنه لا يستطيع أن يؤثر فيه، خارقاً بذلك المبدأ الكوني العام بأن لكل فعل رد فعل. لذلك يقترح

ويغنر أن يحافظ على ذلك المبدأ في حالة الوعي أيضاً، بحيث يكون رد فعل الوعي على العالم هو أن ينقله من التراكب إلى الحقيقة.

يتجلى الاعتراض الأكبر على أفكار ويغنر بوضوح إذا كان هناك مراقبان اثنان، بدلاً من واحد، يضطلعان برصد جملة فيزيائية واحدة، إذ أن لكل منهما عندئذ القدرة على إحالتها إلى الحالة الحقيقية. لتوضيح المشاكل التي يمكن أن تنشأ في مثل هذه الحالة، دعنا نفترض نواة مشعة يُشغِّل تفككها عداد غايغر، ولكن دون مراقب واعٍ هذه المرة. ليكن ترتيب الأمور على نحو تنتهي فيه التجربة بعد دقيقة واحدة، أي عندما يبلغ احتمال التفكك خمسين في المئة، بحيث يتوقف مؤشر العداد في الوضع الذي وصل إليه: منحرفاً إن كان التفكك قد حصل، أو غير منحرف إن لم يحصل، وبذلك يمكن قراءته في أي وقت بعد الدقيقة. الآن، وبدلاً من أن يقوم المراقب بالنظر إلى مؤشر العداد لمعرفة وضعيته النهائية، يقوم بتصويره. وبعد إظهار الصورة ينظر المجرب إليها دون أن يكون قد اطلع مباشرة على حالة العداد. إن الحقيقة هنا لا تظهر، حسب رأي ويغنر، إلا في هذه المرحلة النهائية، لأنها تدين بانبثاقها إلى عملية الرصد الواعية التي قام بها المجرب أو أي امرئ سواه. بالتالي، لا بد أن نستنتج أن النواة والعداد والصورة كانت، جميعاً، قبل فحص الصورة في حالة انفصامية معلقة مؤلفة من تراكب البدائل المختلفة لنتيجة التجربة، على الرغم من أنه قد تنقضي سنوات عديدة ما بين لحظة انتهاء التجربة ولحظة النظر إلى الصورة. وبذلك يبقى هذا الركن الضئيل من الكون (مجموعة التجربة) متأرجحاً في اللاحتمية إلى أن يتكرم مُجربنا، أو أي فضولي آخر، ويلقي بنظرته على الصورة.

تظهر المشكلة الأساسية في التجربة المذكورة إذا أُخذت صورتان متتاليتان آ و ب للعداد بعد انتهاء التجربة. إن الصورة آ لن تختلف بالطبع عن الصورة ب لأن المؤشر مشكول في مكانه. تنشأ المشكلة إذا كان هناك راصدان، عمرو وزيد مثلاً، ونظر زيد إلى الصورة ب قبل أن ينظر عمرو إلى الصورة آ. لاحظ أن الصورة ب أخذت بعد آ لكنها شوهدت قبلها. الآن، وحسب نظرية ويغنر، فإن زيداً هو المراقب الواعي المسؤول عن خلق الحقيقة، لأنه نظر إلى الصورة أولاً. لنفترض أن زيداً قد رأى المؤشر في الصورة منحرفاً وأفاد أن النواة قد تفككت. طبعاً، عندما ينظر عمرو إلى الصورة آ فإنه سيرى أيضاً أن المؤشر منحرف. إن المشكلة هنا هي أنه عندما أخذت الصورة آ لم تكن الصورة ب قد أخذت بعد، مما يعني أن نظرة زيد إلى الصورة ب قد سببت بطريقة مبهمة ما أن تصبح آ مطابقة لـ ب على الرغم من أن آ قد أخذت قبل ب!. من هذا يبدو أننا مضطرون

للاعتقاد بالسببية المرتدة، فنظرة زيد إلى الصورة، بعد عدة سنوات ربما، تؤثر في الآلة التي التقطت الصورة التي سبقتها.

إن القليل من الفيزيائيين هم الذين قبلوا باللجوء إلى الوعي كتفسير لتحول العالم من ذلك التراكب الشبحي إلى الحقيقة الصلبة، في حين أنه لا يبدو أن هناك نهاية واضحة لسلسلة نويمان. قد يكون من الممكن أن نتصور ــ على طريقة نويمان ــ وجود جمل أكبر فأكبر، كل واحدة منها تمثل دور الراصد الذي يسجل حالة الجملة الأصغر منها، إلى أن نحصل على مجموعة تضم الكون بكامله. لكن ماذا بعدئذ؟ ما هي الجملة الأكبر من الكون برمته التي ستلعب دور المراقب بالنسبة له؟ كما رأينا في الفصل الخامس، يجب وصف الكون على أنه فضاء عظيم مؤلف من انضمام عدد لا نهائي من الأكوان المتراكبة. فإذا كان كوننا مجرد مسقط أو شريحة ثلاثية الأبعاد من ذلك الكون العظيم، لا بد عندئذ من طريقة ينسلخ بها من تلك المنظومة الهائلة للعوالم المتداخلة ليتحول بالتالي إلى هذا الوجود الحقيقي، وهذا يتطلب، كما نرى الآن، وجود نظام خارجي غير كمومي ليقوم بعملية الرصد. لكن عندما يكون الكون بكامله هو موضوع الاهتمام، فإنه لا يوجد ــ بالتعريف ــ ما هو خارجي بالنسبة له يمكن أن يرصده، إذ أن الكون هو كلية الأشياء بكاملها. فإذا أضفنا إلى هذا أن كل شيء في الكون يجب أن يخضع لقواعد الكم بشكل أو بآخر، بما في ذلك الزمكان ذاته، فما هو الشيء الذي يمكن أن يحيله إلى حقيقة إن لم يكن الوعي هو الذي يقوم بذلك؟.

إن إحدى الأفكار اللامعة التي لاقت بعض النجاح في أوساط الفيزيائيين كانت قد اقترحت في عام ١٩٥٧ من قبل إفرتْ (Hugh Everett) وتم تطويرها فيما بعد لدى دي ويت (Bryce DeWitt) في جامعة تكساس. تقول الفكرة في جوهرها بتجاهل الجوانب المتعلقة بالوعي والغيب في نظرية الكم، وبأخذ الوصف الرياضي للنظرية بحرفيته. في الواقع، ليست هذه بالفكرة البسيطة والسهلة، ولذلك سوف نسوق التمهيد التالي لتوضيحها. فلدى استخدام الرياضيات لنمذجة نظام ما، كمسار قذيفة أو تطور اقتصاد بلد ما أو ما شابههما، يجب على الرموز الرياضية أن تمثل مباشرة تلك الأشياء التي نقوم بنمذجتها (كالقذيفة والمال... إلخ). إن هذا صحيح أيضاً في الكثير من مجالات الفيزياء الحديثة، وهو بالتأكيد صحيح في ميكانيك نيوتن، إلا أنه ليس صحيحاً حسب التفسير التقليدي لنظرية الكم. فكما بينا في الفصول السابقة، من الضروري أن يتم وصف حالة الجسيم الذري بواسطة الموجة، وهذه الموجة ليست شيئاً فيزيائياً قائماً بذاته نستطيع رصده في

المخبر، لأنها موجة احتمال. كذلك، وكما بينت المناقشة التي قدمناها في الفصل السادس، لا يمكن اعتبار الجسيم شيئاً مستقلاً قائماً بذاته و وحده، علاوة على أنه لا يمكن أن تنسب له موضعاً وحركة محددين في آن واحد. من هذا ينتج أن الرياضيات تتعامل هنا مع أمور مجردة تماماً ولا تمثل في الواقع أكثر من خوارزمية (وصفة آلية) لحساب نتائج الرصد الفعلي. فالموجة المادية، في رأي بور، ليست شيئاً موضوعياً على الإطلاق، بل هي مجرد إجراءات حسابية لا أكثر ولا أقل: «إن من الخطأ أن نظن أن وظيفة الفيزياء هي كشف ماهية الطبيعة. إن الفيزياء تهتم فقط بما يمكننا أن نقول عن الطبيعة». أما هايزنبرغ فيقول: «لم تعد الرياضيات تصف سلوك الجسيمات الذرية، وإنما تصف معرفتنا عن ذلك السلوك».

نأتي الآن إلى اقتراح إفرت ودي ويت الذي ينص، خلافاً لما سبق، على اعتبار الموجة حقيقية وعلى النظر إليها على أنها وصف صادق للعالم. الفائدة من هذا الاقتراح، الذي يرفع من قدر الموجة ويضعها في إطار الوجود الحقيقي، هي التخلص من المفارقة اللاصقة بعملية القياس المشروحة سابقاً، لأن هذه الفكرة لا تنطوي على تحول إلى حقيقة يحدث في أثناء عملية الرصد، إذ أن الحقيقة موجودة سلفاً. وبالتالي، وحسب هذا الرأي، يمكننا اعتبار الجسيمات الذرية موجودة فعلاً في حالة محددة ومعرَّفة تماماً، بالإضافة إلى بقائها خاضعة للارتيابات الكمومية؛ وهذا على نقيض واضح مع تفسير كوبنهاغن الذي قدمناه في نهاية الفصل السادس.

قد يبدو، على ضوء المناقشة التي قدمناها في الفصل السابق حول الصعوبات التي تحيط بصورة الحقيقة في الحس العام، أن من الغريب أن يؤدي تغير بسيط في النظرة إلى الرياضيات إلى إحياء الحقيقة ثانية. فالمشكلة في نظرية إفرت هي أن صورة الحقيقة فيها تبتعد عن الحس العام بقدر ما يبتعد تفسير كوبنهاغن عنه. إن قدرة الأمواج على التراكب وقدرة الحالات الكمومية على النشوء من تراكب الحالات المتعددة المختلفة تمثل عناصر لا مفر من الاعتراف بها في فيزياء الصغائر؛ ونظرية إفرت تقبل بهذا وتذهب به إلى غايته المنطقية: إذا كان التراكب الموجي حقيقياً، فإن الفضاء العظيم حقيقي أيضاً. وبدلاً من الافتراض بأن العوالم الأخرى في الفضاء العظيم ليست سوى بدائل وهمية كانت مرشحة للوجود الحقيقي لكنها أخفقت، يفترض إفرت أن هذه العوالم حقيقية بنفس القدر كعالمنا الذي ندركه، بجزئياته وكلياته. إنه لمن الخطأ، كما سنرى فيما بعد، أن نظن أننا نقطن عالماً خاصاً محدداً من عوالم الفضاء العظيم: في نظرية إفرت، الفضاء العظيم بكامله هو بيتنا وموطننا.

تدعى نظرية إفرت أحياناً، ولأسباب واضحة، بالتفسير المتعدد الأكوان لنظرية الكم، ولهذه

النظرية مضامين متميزة يتجلى أحدها بوضوح في تجربة المقطب والفوتون . فكما بينا في الفصل السابق ، إذا وضع المقطب بميل ما ، فإن الفوتون إما أن يعبره ، وعندئذ يخرج منه باستقطاب مماثل لاستقطابيته ، وإما أن لا يعبره . وبلغة الأمواج ، نقول إن حالة الفوتون قبل الوصول إلى المقطب ليست سوى تراكب لعالمين : في أحدهما يكون استقطاب الفوتون موازياً لاستقطابية المقطب ، وفي الآخر يكون عمودياً عليه . بالنسبة لتفسير كوبنهاغن ، فهو يقول بأن واحداً فقط من هذين العالمين هو الذي يستحيل إلى عالم حقيقي ، وهو العالم الذي يمثل الاستقطاب الموازي . أما في نظرية تعدد الأكوان ، فإن كلا العالمين حقيقيان ، الأمر الذي يعني أن قذف الفوتون باتجاه المقطب يؤدي إلى انقسام العالم إلى اثنين ، في الأول منهما يمر الفوتون عبر المقطب ، وفي الثاني لا يمر .

لقد تم ، في المناقشة أعلاه ، اختيار مثال بسيط ينطوي على عالمين ممكنين فقط ، لكن الحالة العامة تنطوي على الكثير من الإمكانيات التي يمكن أن تخرج من نتيجة التجربة ؛ وقد يكون عدد هذه الإمكانيات لا نهائياً . ومن هذا ينتج ، بموجب نظرية تعدد الأكوان ، أن الكون في حالة مستمرة من انقسامات متتالية لا يحصى عددها ، كل منها نسخة شبيهة بالأخرى . وحسب تعبير دي ويت : « يجب النظر إلى كوننا على أنه في حالة انقسام مستمر إلى عدد لا نهائي من الفروع » . إن كل عملية على الصعيد الذري تتمتع بالقدرة على مضاعفة العالم ، ربما عدداً هائلاً من المرات . وكما يقول دي ويت : « كل تحول كمومي ذري ، في كل نجم وفي كل مجرة ، وفي كل ركن من الكون مهما كان بعيداً ، يقسم عالمنا المحلي إلى عدد هائل من النسخ المشابهة له . إنها انفصامية بأقصى مداها » . وضمن هذا الانقسام اللامتناهي ، تمثل أجسامنا جزءاً من العالم ، ولذلك فإنها تتضاعف أيضاً المرة تلو الأخرى . ليس هذا فقط ، وإنما أدمغتنا أيضاً ، وربما عقولنا و وعينا ، جميعها تتضاعف باستمرار ، وكل نسخة منا هي كائن حي مفكر واع يقطن كوناً آخر كبير الشبه بالعالم الذي من حولنا .

إن أقل ما يمكن أن يقال عن فكرة انقسام جسم المرء و وعيه إلى مليارات فوق مليارات من النسخ هو أنها مروعة ومخيفة بعض الشيء ، على الرغم من أن أنصار هذه النظرية قد بيّنوا أن عملية الانقسام غير قابلة للملاحظة على الإطلاق ، لأن نسخ الوعي لا تستطيع أن تتواصل مع نظيراتها بأي شكل من الأشكال . ففي الواقع ، جميع العوالم الإفرادية في الفضاء العظيم منفصلة تماماً بعضاً عن بعض فيما يخص عملية التواصل ؛ إنه ليس ممكناً لامرئ أن يترك عالمه ليزور توأمه في عالم آخر ، كما ليس ممكناً حتى تصور شكل الحياة في تلك العوالم الأخرى .

إذا كنا لا نرى هذه الأكوان الأخرى ولا نستطيع زيارتها ، فأين هي إذن ؟ في روايات الخيال العلمي ، هناك صور لعوالم موازية لعالمنا تعيش معه جنباً إلى جنب أو تغزوه على نحو ما . كذلك فإن كثيراً من الناس يحمل في مخيلته صورة للجنان كعالم بديل موجود بالتوازي مع عالمنا ، لكن دون أن يشاركه بالضرورة نفس المكان أو الزمان . وأحياناً يحاول بعضهم تفسير الأشباح على أنها صور من عالم آخر تتجلى لأناس ذوي قدرات تتجاوز الإحساس البشري العادي . لكن على أي حال ، ومن وجهة نظر العلم ، فإن عالمنا هو عالم رباعي الأبعاد (ثلاثة مكانية و واحد زمني) ، يضاف إليها أحياناً أبعاد أخرى ، إما للضرورة الرياضية أو لاستخدامها في نمذجة الحقيقة ، كما في نظرية إفرت . ورياضياً ، يتم التعامل مع هذه الأبعاد الإضافية بسهولة تامة ، على الرغم من الصعوبة الكبيرة في تصورها فيزيائياً . إن المفارقة الساخرة هنا ، هي أن هذه الأبعاد الإضافية التي لا نحسها ولا ندركها ، توصف رياضياً على أنها متعامدة مع عالمنا بدلاً من كونها موازية له .

لاستيعاب مفهوم الأبعاد الإضافية ، دعنا نعاين معاناة مخلوق مسطح تماماً يعيش في رقعة ثنائية الأبعاد كسطح منضدة أو سطح كرة مثلاً . واضح أن عالم هذا المخلوق يتكون من سطح ذي بعدين ، وهو لذلك لا يستطيع أن يتحسس الأعلى والأسفل ولا حتى أن يدركه ، و وصفه للأشياء يقتصر على طولها وعرضها ومساحتها فقط ، لكن دون حجمها الذي لا معنى له عنده . لكننا من خلال قدرتنا المتفوقة على قدرته بالإحساس بالبعد الثالث (لأننا نعيش في عالم ذي ثلاثة أبعاد مكانية) نستطيع أن نرى أن هذا المخلوق ، وبالتالي عالمه ، موجودان فعلاً وحقيقةً في عالم أكبر ذي امتداد عمودي على السطح الذي يمثل ذلك العالم . إننا نستطيع أن نرى ما هو خارجي بالنسبة لسطح الكرة ، وهذه فكرة يمكن أن نُدَرِّب المخلوق المسطح على أن يفهمها ويصفها باستخدام الرياضيات ، وإنْ كان يجد صعوبة كبيرة في تصورها من خلال المفاهيم الفيزيائية العادية . وبشكل مماثل ، إذا كانت هناك أبعاد إضافية في الوجود متعامدة مع الطول والعرض والارتفاع التي نألفها ، فإن محدودية قدرتنا على الإحساس بهذه الأبعاد فقط ، تمنعنا من معرفة الأبعاد الإضافية على نحو مباشر . لكننا ، مع ذلك ، نستطيع استنتاج وجودها من خلال الرياضيات والتجربة . وحسب نموذج العالم في نظرية إفرت ، فإن المكان الذي نألفه هو مكان جزئي ثلاثي الأبعاد من المكان العظيم الذي يتكون حقيقة من عدد لا نهائي من الاتجاهات المتعامدة . إنها فكرة مستحيلة التصور إلا من خلال المعرفة الرياضية العميقة .

على الرغم من أننا لا نستطيع إدراك العوالم الأخرى ، فإن وجودها يقود وبشكل طبيعي جداً

إلى الخصائص الإحصائية التي تتمتع بها الجمل الكمومية، والتي تظهر في التفسير التقليدي لنظرية الكم كعنصر فطري متأصل في الطبيعة لا يمكن شرح مصدره. كما بينا في الصفحة ١٢٦، نلجأ عادة إلى مفاهيم الإحصاء والاحتمال عندما لا تكون لدينا معلومات كاملة مفصلة عن الجملة التي ندرسها. فمثلاً، لدى قذف قطعة النقود، نقول إن هناك احتمالاً يساوي خمسين بالمئة لسقوط القطعة على أحد وجهيها، وهذا يعود إلى جهلنا بتفاصيل معدل فتلها ومقاومة الهواء لها والارتفاع الذي تصل إليه... بالإضافة إلى العديد من العوامل الأخرى. لذلك يُعبِّر الارتياب في النتجية عن جهلنا بتلك التفاصيل. أما في نظرية الكم، فالارتياب فطري مطلق، إذ حتى ولو كانت لدينا معرفة تامة بجميع التفاصيل التي تصف حالة الجملة موضوع الاهتمام، فإننا سنخفق في التنبؤ بنتيجة التجربة. وفي نظرية الأكوان المتعددة، يظهر وجه جديد لتلك اللاحتمية الفطرية، ذلك أن المعلومات التي قد يكون من الممكن أن تؤدي إلى تنبؤ تام بحالة الجملة، تختفي عنا في العوالم الأخرى التي لا سبيل لنا إليها. وبالتالي، وحسب هذا التفسير، يكون الفضاء العظيم ككل مُحدَّداً تماماً، وما عنصر العشوائية الذي نرى سوى نتيجة لاقتصار ملاحظتنا على عينة ضئيلة جداً (وهي عالمنا) منه. وهكذا، وبالنظر إلى كامل الفضاء العظيم على أنه هو الكون الحقيقي، نجد فعلاً أن الله لا يلعب النرد، ولعبة الحظ التي تبدو لنا في عالمنا الذي نعيش لا تأتي عندئذ من الطبيعة ذاتها، وإنما من إدراكنا لها. هنا يكون وعينا هو الذي يشق طريقه عشوائياً عبر متاهة التفرع الكونية اللانهائية، وبذلك نكون نحن، وليس الله، من يلعب بالنرد.

كثير من العوالم الأخرى تشبه عالمنا ولا تختلف عنه إلا في حالة بعض ذراتها، ويوجد فيها كائنات واعية لا يمكن تمييزها عنا لا بالجسم ولا بالعقل، وهي تمارس تقريباً وجوداً موازياً لوجودنا. إن هذه النسخ منا تشاركنا في أصولنا، لأن فروع الأكوان المتعددة كانت منصهرة ومتلاقية في جذع واحد. وكل كائن حي واع مفرد عند الولادة يتضاعف حتى موته بما لا يُعَدُّ ولا يحصى. لكن ليست جميع العوالم الأخرى مأهولة بكائنات منسوخة عنا، ففي بعضها تقود عملية التضاعف والتفرع إلى موت مبكر، وفي بعضها لا يحصل التوالد من أساسه، بينما تكون بعض الفروع قد اختلفت عن عالمنا إلى درجة انعدام الحياة فيها. في الفصل القادم سوف نغطي هذا الموضوع بتفصيل أكبر.

ماذا يمكننا أن نقول عن بقية أجزاء الفضاء العظيم الذي لا يمثل فيه كوننا سوى عينة ضئيلة؟ ماذا يجري في تلك العوالم الأخرى؟ لقد رأينا في الفصل الأول أن بعض العمليات، كقذف كرة مثلاً، ليست حساسة نسبياً للاختلافات الطفيفة في الظروف البدئية قبل بدء العملية، في حين أن

بعضها الآخر، كحركة مجموعة من كرات البلياردو، يمكن أن تتأثر بشكل جذري لدى حصول تغير بسيط جداً في سرعة أو زاوية الكرة المركزية. وفي الفضاء العظيم، تجعل اللاحتمية الكمومية الكرات، وكل شيء آخر، تتبع مسارات غير محددة نوعاً ما، حيث ينتمي كل مسار منها إلى أحد العوالم المختلفة. وعندما لا يؤدي الاختلاف في الظروف البدئية إلى اختلافات كبيرة في تلك المسارات، تكون العوالم المقترنة بها متشابهة إلى حد التطابق. أما عندما تكون العملية قائمة على التوازن الحرج في ميزان المصادفات، فإن العوالم البديلة ستكون مختلفة كل الاختلاف.

إن أحد الأمثلة الهامة عن الكيفية التي تؤثر فيها ظواهر الكم بشكل جذري على عالمنا، هو ما يتعلق بأثر الإشعاعات على مادة الجينات الحيوية (المورثات). تقوم بنية جميع أشكال المادة الحية المعروفة لنا على أساس الجزيء المعقد المعروف بالـ DNA والمؤلف من تجمع لولبي مزدوج للذرات المتوضعة معاً في تركيب غاية في التعقيد، ولدى حصول أي تغير في طريقة توضع الذرات يتغير المحتوى البنيوي للـ DNA مما يجعله يتكاثر على نحو مغاير لطبيعته الأصلية. هذا ويمكن للتغير في الـ DNA أن يحصل بطرق شتى، إلا أن أخطرها هو ما ينتج عن وابل الأشعة الكونية التي تنهال على الكرة الأرضية من الشمس ومن الفضاء الخارجي، حيث يؤدي اصطدام أحد جسيمات تلك الأشعة مع الـ DNA إلى تغير أساسي في البنية الحيوية.

إن الطفرات التي تحدث في الـ DNA ضرورية للتطور الحيوي، لأنها تمثل منبع التنوع الكبير في أنماط الحياة التي تنتقي الطبيعة منها ما تنتقي وتدمر ما تدمر، تبعاً لقدرات هذه الأنماط على البقاء. لكن فيما يخص الفرد الواحد، يمكن لتلك الطفرات أن تؤدي إلى كارثة. من الواضح أن حدوث الطفرة مسألة بالغة الحساسية، ذلك لأنها تعتمد على اصطدام الجسيم الذري مع جزي الـ DNA في موضع محدد منه. فالجسيم ذاته قد يكون ناتجاً ثانوياً لعملية تصادم تمت في طبقات الجو العليا بين جسيم أصلي وذرة من ذرات الهواء، الأمر الذي يعني أن تغيراً طفيفاً في زاوية تشتت الجسيم الثانوي قد يؤدي إلى الانحراف عن جزيء الـ DNA موضوع الاهتمام بمسافة كيلومترات عدة، وبالتالي لا تحصل الطفرة في بنيته. من هذا يتضح أن التغيرات الجينية حساسة جداً إزاء التغيرات الذرية الطفيفة، ولذلك يمكن لعوالم الفضاء العظيم أن تكون مختلفة فيما بينها كلياً، فيما يخص الفرد الذي يمثل حاصل الطفرة المذكورة. ففي بعض تلك العوالم قد تؤدي الطفرة في الـ DNA إلى ظهور شخص عبقري مثلاً يتمكن من تغيير عالمه على نحو جذري، وفي بعضها الآخر قد تعاني شخصيات تاريخية هامة من طفرات سيئة تجر الويلات على نفسها وعلى ما حولها.

بالعودة عبر الزمن إلى الوراء، يمكن لتغيرات طفيفة حدثت في الماضي أن تكون قد أدت إلى اختلافات كبيرة في الوقت الحاضر. فمثلاً، وفي عالم تعرض فيه أحد أجدادنا لحادث منذ عشرة آلاف سنة، لن يكون هناك وجود لكل أحفاده الذين كان من الممكن أن يُعَدُّوا اليوم بالآلاف. وكمثال آخر، يمكن للتغير الطفيف في المسارات شبه الحرجة للكويكبات المرافقة لبعض الكواكب أن يحيل حركتها المتناسقة المتناغمة إلى صدام زلزالي مروع في بعض العوالم الأخرى.

عند النظر إلى الفضاء العظيم في أوسع مداه، يبدو أن كل حالة ناتجة عن أحد المسارات الممكنة الهائلة العدد سوف تظهر في أحد العوالم على الأقل. إن لكل ذرة مليارات المليارات من المسارات الممكنة الناجمة عن العشوائية الكمومية؛ وفي نظرية العوالم المتعددة، سوف تتبع الذرة تلك المسارات كافة، واحداً في كل عالم، ويظهر كل تجمع ذري يمكن تصوره في موضع ما من الفضاء العظيم؛ وسيكون هناك عوالم بلا أرض ولا شمس، وأخرى بلا نجوم ولا مجرات، في حين سيغرق بعضها الآخر في حلكة الظلام وضجيج الفوضى، حلكة تعج بالثقوب السوداء التي لا تفتأ تبتلع كل ما يصادفها من أشلاء المادة.

سوف تكون هناك العوالم التي تبدو كعالمنا لكن بنجوم وكواكب مختلفة. حتى أن تلك التي تشابه عالمنا من حيث بنيتها الفلكية سوف تحتوي على أنماط مختلفة للحياة. ففي الكثير منها لن يكون هناك حياة على الأرض، وفي بعضها الآخر ستكون الحياة أسرع تطوراً وتقدماً. وستختفي الحياة كلياً في بعض العوالم بسبب الحرب، وستكون مجرة درب التبانة مستعمرة كلياً من قبل الغرباء في بعضها الآخر. في الواقع، ليس هناك من حدود للصور التي يمكن لعوالم الفضاء العظيم أن تأخذها.

وأمام هذا التضاعف الهائل لأشكال الحقيقة، يبرز السؤال المحير التالي: لماذ نجد أنفسنا نعيش في هذا العالم بالذات دون سواه من العوالم الأخرى التي لا تعد ولا تحصى؟ هل هناك من خصوصية يتميز بها كوننا عن سواه، أم أن وجودنا فيه هو مجرد أمر عشوائي بحت؟ بالطبع، وحسب نظرية إفرت، نحن نعيش في كثير من الأكوان الأخرى أيضاً، إلا أن مجمل هذه الأكوان (الآهلة بالحياة) لا يعدو كونه جزءاً ضئيلاً من عوالم الفضاء العظيم التي لا يوفر معظمها الشروط اللازمة للحياة. فكم من الشروط التي نعرفها هو ضروري للحياة؟ هذه هي الأسئلة التي سوف نعاينها في الفصل التالي.



المبدأ البشري*

لماذا كان ترتيب العالم حولنا كما هو عليه؟ في الواقع، ليس الكون الذي نقطن فيه سوى مكان خاص جداً ببنيته الغنية التركيب وفعالياته العالية التعقيد. فهل هناك ما هو خصوصي مميز في توزع المادة والطاقة على النحو الذي نراه عملياً، وخلافاً لما كان من الممكن أن يكون؟ بكلمات أخرى، لماذ يختار وعينا هذا الكون بالتحديد من بين ذلك العدد اللامتناهي من الأكوان البديلة الأخرى في الفضاء العظيم؟.

لدى التعامل مع مسائل الانتخاب والاحتمال، يجب مقاربتها دائماً بالحذر الشديد. فعندما نقوم بخلط طاقم كامل من أوراق اللعب ثم بتوزيعه، فإن ما يحصل عليه اللاعب من الأوراق يمثل مجموعة ذات احتمال شبه معدوم. بتعبير آخر، لو سألنا اللاعب أن يتوقع ما سيحصل عليه من الأوراق، سنجد أن احتمال نجاح توقعه ضئيل للغاية. ومع هذا، نحن لا نعتبر مجموعة الأوراق التي يحصل عليها على أنها معجزة. في الواقع، ومن وجهة نظر الانتخاب العشوائي، فإن كل مجموعات الأوراق متماثلة، ولا يوجد في أي منها ما يميزها عن غيرها. لكن لو أن اللاعب حصل على مجموعة

* يحاول المبدأ البشري The Anthropic Principle تفسير تطور الكون منذ ولادته وحتى الآن على الأساس الحيوي البشري، حيث يتم تحديد المقادير والعوامل الفيزيائية في كل مرحلة من مراحل تطوره من منطلق أن الحياة موجودة الآن على سطح الأرض. هذا لا يتضمن أن تلك المقادير كانت على ما كانت عليه من أجل ظهور الحياة بشكلها الحالي فيما بعد، كما أنه لا يعنى أن الحياة ستكون مختلفة لو كانت المقادير مختلفة. إن المبدأ البشري يقتصر تحديداً على محاولة استنتاج قيم تلك المقادير على ضوء وجود الحياة اليوم. اسم المبدأ مشتق من الكلمة اليونانية Anthrop التي تعني الإنسان. (المترجم)

كاملة من الأوراق المرتبة، فإن ذلك سيكون حدثاً غريباً بحق، لأن للمجموعة المرتبة مغزى يفوق ما تتمتع به أي مجموعة أخرى. بشكل مشابه يعتبر ربح ورقة اليانصيب حدثاً سعيداً، لأن الرقم الرابح يتمتع بأهمية خاصة على الرغم من أنه لا يختلف عن بقية الأرقام في شيء.

في النهج الديني التقليدي، ولدى طرح الأسئلة المتعلقة بتدبير الكون، يُفترض عادة أن الله هو الذي خلق الكون وصاغه على النحو الذي هو عليه بغية استيطانه من قبل الإنسان. ففي الكتاب المقدس يأتي وصف الكيفية التي تحقق فيها ذلك بشكل مباشر: في البداية كان خلق النور، ثم السماء وسط الماء؛ بعدها كان تقسيم الماء بين أولئك الذين كانوا تحت السماء وأولئك الذين فوقها، ثم تم تجميع أولئك الذين تحت في مكان واحد. وظهرت اليابسة واكتظت الأرض أخيراً بالزرع والحيوانات. على هذا النحو خلق الله الظروف والشروط اللازمة لحياة الإنسان.

يبين التمعن في طبيعة الحياة على الأرض مدى التوازن الحرج الذي يقوم عليه وجودنا في ميزان المصادفات، إذ أن هناك الكثير من المتطلبات الأساسية الأولية اللازمة لبقائنا. فأولاً، يجب أن توجد وفرة كافية من الكيماويات التي تشكل المادة الأولية لأجسامنا، كالكربون والهيدروجين والأكسجين، بالإضافة إلى الكميات الصغيرة، لكن الضرورية، من العناصر الأثقل، كالكالسيوم والفوسفور. ثانياً، يجب أن لا يكون هناك خطر التفاعل مع المواد الكيماوية السامة، كغاز الميتان أو الأمونيا اللذين يملآن أجواء الكثير من الكواكب الأخرى. ثالثاً، تحتاج حياتنا إلى مجال ضيق من درجات الحرارة بما يسمح للعمليات الكيماوية في أجسامنا أن تجري بالمعدل الصحيح. إن هناك شكاً كبيراً في إمكانية استمرار الحياة خارج المجال الحراري ٥ ـــ ٤٠ درجة مئوية، دون استخدام الملابس الخاصة. رابعاً، يجب توفر منبع دائم للطاقة، وهو الشمس بالنسبة لنا، ومن الضروري أن يكون هذا المنبع مستقراً تماماً وخِلْواً من الاضطرابات كافة، وهذا لا يستدعي فقط أن تستمر الشمس بالاشتعال بتجانس منقطع النظير، بل يتطلب أيضاً من مدار الأرض حول الشمس أن يكون أقرب ما يمكن إلى الدائري لتفادي الابتعاد والاقتراب الكبيرين عن الشمس وما ينجم عنهما من تبدل في درجة حرارة الأرض. خامساً، يجب أن تكون الثقالة شديدة بما يكفي لإمساك الهواء في محيط الأرض ومنعه من التبخر في الفضاء البعيد، وضعيفة أيضاً بما يسهل حركتنا ويدرأ عنا تحطم العظام لدى سقوطنا من حين لآخر.

تُري المعاينة الأدق أن الأرض تحتوي على تسهيلات للحياة أعجب مما ذكرنا. فبدون طبقة

الأوزون الموجودة فوق الغلاف الجوي، لكانت الأشعة فوق البنفسجية المميتة قد أهلكت الحياة وأبادتها، ولولا الحقل المغناطيسي الأرضي، لأغرقت الجسيمات الذرية الموجودة في الأشعة الكونية سطح الأرض. وفوق هذا وذاك، يكفي أن الركن الصغير الذي نحتله من الكون ينعم بهدوء واستقرار لا مثيل لهما في الوقت الذي تسود فيه الاضطرابات الزلزالية العنيفة الكثير من أرجاء الكون الأخرى. بالنسبة لأولئك الذين يعتقدون أن الله قد خلق الكون لسكنى الإنسان، لا يمكن لهذه الظروف كافة أن تكون عشوائية واعتباطية، بل هي انعكاس لبراعة الخلق ودقة الصنع بما يتيح للحياة أن تترعرع وتزدهر في نظام محكم مصمم سلفاً لتلك الغاية بالتحديد: إنه كون من صنع خالق.

لقد تغيرت النظرة إلى مظاهر اتفاق المصادفات على نحو جذري عندما تم اكتشاف أن الحياة على الأرض ليست ساكنة مستقرة على وتيرة وئيدة، وإنما تتغير وتتطور باستمرار. عندئذ، وعلى أساس نظرية داروين في النشوء والارتقاء، أصبح من الممكن قلب المسألة رأساً على عقب ليتبدل السؤال من: لماذا كانت الأرض على تلك الدرجة من الملاءمة للحياة؟ إلى: لماذا كانت الحياة على تلك الدرجة من التوافق مع الأرض؟ وفي هذا الإطار، يأتي الجواب من الطفر الحيوي والانتخاب الطبيعي على النحو التالي: العضويات التي تجد نفسها نتيجة للتغير العشوائي متوافقة مع ظروف الحياة على الأرض، تستفيد من حظها في الانتخاب الطبيعي وتأخذ دورها في النمو والتكاثر على حساب نظيراتها الأقل توافقاً. فمثلاً، لو كانت الثقالة على سطح الأرض أشد مما هي عليه، لأدت إلى تطور كائنات حية أصغر حجماً وأقوى عظاماً، ولو كانت درجات الحرارة أعلى لحصل تطور مختلف في وسائل تبريد الجسم الحي على نحو ملائم. لذلك، ليس هناك ما هو خصوصي متميز في الشروط السائدة على الأرض فيما يخص الحياة، ولو كانت الظروف مختلفة لاختلف طرازنا عما هو عليه.

على أي حال، ليس من الممكن أن نقبل أن الحياة تستطيع التوافق مع جميع الظروف مهما كانت، ذلك أن هناك حدوداً ومتطلبات معينة ومطلقة تستحيل الحياة دونها. فهناك مثلاً شك كبير في إمكانية قيام الحياة على كوكب من دون جو يحيط به (كالقمر) أو ذي درجة حرارة تزيد عن درجة غليان الماء. ومن الصعب أيضاً تصور وجود حياة حول شمس مضطربة غير مستقرة لا يمكن التنبؤ بتصرفاتها، كالكثير من النجوم التي تشتعل وتنفجر دون سابق إنذار. لكن دعنا ننظر إلى مسألة الحياة في إطار كوني أشمل. إن الكون مليء بالنجوم التي تأتي بمختلف الكتل والحجوم، إذ أن هناك المليارات منها (وربما العدد اللانهائي)؛ لذلك، وحتى لو كانت الحياة مصادفة

ضئيلة الاحتمال، فإنه لا بد لها من الظهور بالقرب من أحد تلك النجوم. أما أن الحياة قد كانت على الأرض، فما ذلك إلا نتيجة للحقيقة القائلة بأن إذا كان لها أن تظهر فإنها ستكون على الأرجح حيث تتوفر الشروط الملائمة المثلى. وبذلك يمكننا أن نستنتج أن وجودنا في هذا الركن الصغير من الكون ليس مجرد حدث عشوائي اعتباطي، بل هو انتخاب تم بواسطة الشروط الضرورية لنا لنكون هنا. إن هذا الاستنتاج الهام، والذي غالباً ما يُحمل على محمل البداهة، يمكن أن يلعب دوراً جوهرياً في نظرتنا إلى أنفسنا وإلى موقعنا في هذا الكون.

لو استخدمنا التعليل السابق نفسه لتحديد موقعنا في الفضاء العظيم كما فعلنا في تحديد موقعنا في عالمنا الذي ندرك، سنجد أن هناك ما هو أكثر من ذلك بكثير من خصائص الكون الأخرى التي يجب أن تكون نتيجة أثر الانتخاب البيولوجي المذكور. وعلى هذا، وبما أن حفنة ضئيلة من العوالم البديلة يمكنها أن تتمتع بتلك الخصائص، فإن معظم أكوان الفضاء العظيم هي أكوان غير مأهولة، وبذلك يكون العالم الذي نعيش فيه هو حتماً العالم الذي نعيش فيه.

يُعرف هذا النمط من التعليل عادة بالمبدأ البشري ومغزاه يتوقف على التفسير الذي نعتمده لنظرية الكم. فمن تفسير كوبنهاغن نستنتج أن عالمنا هو الموجود حقيقة، بينما أخفقت العوالم الأخرى في التحول إلى حقيقة، فهي بالتالي عوالم وهمية. وفي هذه الحالة، لا يمكننا الادعاء بأن وجودنا يفسر بنية الكون وتركيبه (على الأقل من وجهة نظر توفيره لمستلزمات الحياة)، لأن هذا يُدخلنا في دائرة مغلقة من التعليل: نحن هنا لأن الظروف كانت ملائمة، والظروف كانت ملائمة لأننا هنا. إن كل ما يستطيع المبدأ البشري أن يقدمه عندئذ هو أننا محظوظون جداً في أننا هنا. فإذا كان هناك عدد كبير من العوالم البديلة التي لا تحتمل حياة ذكية، فإنها لا بد أن تمضي دون أن يكون هناك من يشاهدها ويتعجب من ضآلة احتمال حدوثها؛ وعندئذ علينا أن ننظر إلى أنفسنا على أننا محظوظون جداً في كوننا أحياء، وأن نعتبر وجودنا مصادفة بعيدة الاحتمال.

من ناحية أخرى، وفي تفسير إفرت لنظرية الكم على أساس الأكوان المتعددة، تكون أكوان الفضاء العظيم كافة أكواناً حقيقية تقف جميعاً على قدم المساواة في وجودها. لكن بما أن الحياة بالغة الحساسية لشروط معينة، فإن معظم تلك الأكوان تخلو من الحياة ومن المراقبين الواعين الذين يمكنهم إدراكها، ماعدا عالمنا، مع تلك الحفنة الضئيلة من العوالم الأخرى المشابهة له. في هذه الحالة، ومن خلال وجودنا بالذات، نكون قد اخترنا العالم الذي نقطنه من بين جميع الإمكانيات المتاحة الأخرى

اللانهائية العدد. على أي حال، فإن دقة وسلامة هذا التفسير للكون تعتمد كلياً على المعنى المقصود من كلمة تفسير. فإن كنا نعني بهذه الكلمة تحديد سبب شيء ما، بالمعنى المألوف للسببية، فإننا لا نستطيع الادعاء بأن الكون نتج عن الحياة، لأن الكون أتى أولاً ثم كانت الحياة. أما إذا كانت كلمة تفسير تعني إطاراً شاملاً لفهم الأمور، فإن نظرية الأكوان المتعددة تقدم تفسيراً للشكل الذي توجد عليه الأشياء. فكما يمكننا أن نفسر سبب حياتنا على كوكب قريب من نجم مستقر بحجة أن مثل هذا المكان وحده هو الملائم لنشوء الحياة، نستطيع، سواء بسواء، أن نفسر الكثير من مظاهر وخصائص الكون الأخرى على ضوء عملية الانتخاب البشري هذه. وباختصار، فإن تفسيري نظرية الكم يؤولان إما إلى المصادفة أو إلى الاختيار كتفسير للكون.

إذا كانت الحياة تقف في توازن حرج في ميزان المصادفات، فما مدى استقرار هذا التوازن، وما هو المجال الذي يمكن لخصائص كوننا أن تتغير فيه مع الاستمرار في المحافظة على إمكانية وجوده؟ إلى أي مدى تختلف فيما بينها أكوان الفضاء العظيم؟ هل من الممكن أن تكون جميعها أو معظمها، قد انتهى بها المطاف لتبدو كما يبدو عالمنا اليوم، على الرغم من المتغيرات المتاحة كافة؟ للإجابة عن السؤال الأول من هذه الأسئلة، يلزم أولاً تحديد كم من العوالم المختلفة الممكنة يستطيع تأمين مستلزمات الحياة. في البداية يجب التأكيد على أن طبيعة العالم تعتمد على أمرين اثنين: قوانين الفيزياء والظروف البدئية. فقد بينا في الفصل الأول، أن شكل مسار الكرة المقذوفة في الهواء (إذا أهملنا الآثار الكمومية) يتحدد بقوانين الحركة النيوتنية بالإضافة إلى زاوية القذف وسرعته. وبما أن قوانين الفيزياء هي قوانين مطلقة، علينا أن نتوقع أنها تقبل التطبيق في الأكوان الأخرى من الفضاء العظيم كما في كوننا؛ لكن، وعلى النقيض من ذلك، لا يمكن للظروف البدئية المتعلقة بأي حادثة معينة أن تكون ذاتها في كل مكان، إذ أن هذا بالضبط هو الفارق بين الأكوان المختلفة.

في الواقع، هناك صعوبتان في تقسيم التأثيرات إلى ظروف بدئية وقوانين فيزيائية، أولاهما أن في علم الكون، الذي يهتم بالكون بمجمله، لا يوجد معنى واضح للتحدث عن قوانين الفيزياء. فالخاصة الأساسية للقانون هي إمكانية تطبيقه دون إخفاق على نحو متكرر مرات كثيرة وعلى عدد كبير من الجمل الفيزيائية المتماثلة؛ لكن بما أننا أمام كون واحد فقط متاح لنا التجريب فيه، فإننا لن نستطيع التحقق من أنه يتصرف ـــ بكليته ـــ تبعاً لقانون محدد. فمثلاً، هل القول بأن درجة حرارة الفضاء بعيداً عن النجوم مساوية ثلاث درجات مطلقة هو قانون فيزيائي أم هو مصادفة بحتة؟ وهل كان من الممكن لهذه السخونة أن تأخذ قيمة أخرى؟ إنه لا يمكننا التحدث عن قوانين كونية إلا إذا

استطعنا أن نتصل بعوالم أخرى وأن نختبر فيها قابلية انطباق هذه القوانين عليها. والصعوبة الثانية تكمن في أن ما يبدو لجيل ما قانوناً أساسياً في الفيزياء، قد يتحول في نظر جيل لاحق ذي معرفة علمية متطورة إلى مجرد حالة خاصة من قانون آخر أكثر شمولاً؛ وأحد الأمثلة الشهيرة في هذا المجال أمر يخص الليل والنهار. فبالنسبة للقدماء، كان هناك قانون طبيعي يقف على قدم المساواة مع جميع القوانين الأخرى، وهو أن طول اليوم يساوي أربعاً وعشرين ساعة من الزمن. لكن من خلال معرفتنا العلمية الحديثة والمتطورة في علم الميكانيك، تبين أن ليس هناك ما هو خصوصي يميز فترة الأربع وعشرين ساعة، وأنه يمكن لطول اليوم أن يتغير. ولئن كان هذا التغير ضئيلاً للغاية، إلا أنه قابل للقياس بواسطة الميقاتيات الذرية الحديثة، وقد تبين أن طول اليوم قد ازداد بعدة ساعات على مدى الأحقاب الجيولوجية. لذلك، وعندما يأتي الأمر إلى العوالم الأخرى، علينا أن نحدد تلك المجموعة من خصائص كوننا التي يمكن أن تكون متغيرة، أي التي أتت مصادفة كما اتفق، كطول اليوم، وأن نميزها عن غيرها من الخصائص الأساسية الثابتة. لكن بما أننا لا نعلم أي قوانيننا هي حالات خاصة من قوانين أشمل وأعم، فإن الطريق الأسلم هو أن نعاين أولاً تغيرات الأشياء التي نعلم أنها قد أتت كما اتفق، ثم نبيح لقوانيننا المقبولة أن تتغير، آخذين بعين الاعتبار الطابع التخميني للتحليل.

من الأسئلة التي نحب أن نجيب عنها السؤال التالي: هل نحن قادرون على العيش في كون تبلغ درجة حرارة الفضاء فيه ثلاثمئة درجة بدلاً من ثلاث درجات مطلقة كما هي الحال في كوننا الآن؟ تتطلب الإجابة عن هذا السؤال أولاً تحديد معنى كلمة نحن في الجملة السابقة. فإذا كانت نحن تعني الحياة الذكية من النمط السائد على الأرض، فإن الجواب قد يكون كلا، لأن درجة الحرارة ستكون أعلى بكثير من أن تتيح لمثل هذه الحياة أن تنشأ في أي بقعة من أرجاء الكون، لكن قد توجد، من جهة أخرى، أنماط حياة مختلفة تماماً تقوم على أسس أخرى تسمح لها بالنمو والازدهار في ظروف مختلفة كلياً عما نصادفه على الأرض. فالحياة الأرضية تقوم على الكربون الذي يتمتع بخاصة كيميائية هامة وهي قدرته على ربط ذراته مع بعضها ومع غيرها من ذرات العناصر الأخرى، كالهيدروجين والأكسجين في أشكال معقدة عديدة لا حصر لها. إن التعقيد هو مفتاح الحياة، ودون العدد الهائل من إمكانيات التنوع في العضويات الحية، لا يمكن للنشوء والارتقاء والتطور الحيوي أن يكون. إن على الحياة أن تكون قادرة على التلاؤم بشتى الطرق والأشكال مع الظروف الطارئة، وهذا ممكن الحصول من خلال الأخطاء العشوائية التي يمكن أن تحدث في البنية الكيميائية لمكونات الفرد الواحد، كما ذكرنا في نهاية الفصل السابق. فبعد عدد كبير من الأخطاء غير الفعالة،

لا بد من حصول تغير، ولو بسيط، في النوع يضفي على بنيته خصائص أكثر تلاؤماً مع المحيط. وطبعاً، قد يكون التغير باتجاه الأسوأ الذي لا يلقى عندئذ التشجيع على الاستمرار. على هذا النحو، ومن خلال المليارات من خطوات التغير المتراكمة، نشأت الحياة الذكية على الأرض.

إن حاجة الحياة إلى درجة بالغة من التعقيد تحد بشكل كبير من عدد العناصر الكيميائية التي يمكن أن تشكل أساساً للحياة؛ ولعل الكربون هو الوحيد الذي يمكنه تحقيق التعقيد المطلوب، وإن كان القصدير والسيليكون يعتبران مرشحين لذلك في بعض الأحيان. لكن، هل كل تعقيد يؤدي إلى الحياة؟ المشكلة هنا هي أنه لا يوجد تعريف محدد للحياة، إذ ليس هناك من حدود واضحة بين الأحياء واللاأحياء. فالبلورات، مثلاً، هي نماذج لبنى تتمتع بدرجة عالية من الانتظام وتتميز بقدرتها على التضاعف (التكاثر)، ومع ذلك لا نعتبرها مادة حية. والنجوم أيضاً هي أمثلة لانتظام الطاقة والمادة عند سويات عالية من التعقيد، لكننا لا ننظر إليها على أنها من الأحياء أيضاً. قد نكون، نحن، على درجة من ضيق الأفق في تصورنا للحياة، وقد تكون هناك نظم معقدة في أركان أخرى من الكون لا تبدي أي شبه بالعضويات الحية التي نعرفها، ومع ذلك يمكن أن تكون حية بكل ما تحمل الكلمة من معنى. ومن أمثلة هذه الأفكار ما أورده الفلكي فْرِد هويل (Fred Hoyle) عن حياة غريبة عجيبة في إحدى روايات الخيال العلمي المعروفة بـ «الغيمة السوداء». ففي هذه الرواية يصور المؤلف غيمة هائلة من الغاز المكون في أغلبه من الهيدروجين، تتجول هنا وهناك في الفضاء ما بين المجرات والنجوم. ليس هناك على الأرض من غيم يشبه هذه الغيمة ذات الكثافة المنخفضة جداً حيث لا يوجد في السنتمتر المكعب الواحد منها أكثر من ألف ذرة، أي أن كثافتها تساوي جزءاً واحداً من مليار مليار من كثافة الهواء، وهذا ما يعتبر خلاء مثالياً بجميع المعايير التي نعرفها في مخابرنا. وعلى الرغم من هذا، وفي الفضاء الخالي من كل شيء تقريباً، تمثل تلك الغيمة جسماً هائلاً يستطيع كسر الضوء وبعثرته بشدة. ويزعم هويل في الرواية أن هذه الغيمة حية فعلاً بمعنى أنها تتمتع بالدوافع وتسيطر على حركتها على نحو مشابه للأميبا (ذلك الحيوان الوحيد الخلية الذي يأتي في أدنى مراتب الحياة العضوية)، كما أنها تمتلك بنية داخلية معقدة ذات طاقات فكرية تفوق ما لدى الإنسان بكثير.

إن جميع أشكال الحياة على الأرض ذات طبيعة كهرطيسية في جوهرها بمعنى أن القوى التي تتحكم بالعمليات الكيميائية في أجسامنا هي القوى الكهربائية والمغناطيسية الفاعلة بين الذرات. في الواقع، ليست الكهرطيسية سوى واحدة من قوى طبيعية أربع؛ فإلى جانبها هناك قوة الثقالة

والقوتان النوويتان المعروفتان بالشديدة والضعيفة . فهل يمكن لتلك القوى الأخرى أن تشكل أساساً تقوم عليه الحياة ؟ الجواب ، على ما يبدو ، هو أن هذه القوى غير قادرة على أن تشكل أساساً معقولاً للحياة . فالثقالة قوة ضعيفة إلى درجة أنها لا تظهر بشكل واضح إلا من كتل ذات أحجام فلكية ؛ والمجرات فقط ، وفي أحسن الأحوال مجموعات النجوم ، هي الأنظمة الوحيدة المعروفة التي تقوم بنيتها على أساس الثقالة . فهل يمكن اعتبار المجرة حية بمعنى ما ؟ إن من الصعب تصور ذلك . فالضوء ، وهو أرهف بنية معروفة ، يحتاج إلى عشرات الآلاف من السنين ليجتازها من أحد طرفيها إلى الآخر ، الأمر الذي يعني ، حسب نظرية النسبية ، أن المجرة تستطيع أن تقوم بتصرفات متكاملة خلال أزمنة من هذه الرتبة . وبكلمات أخرى ، يبلغ زمن التفكير لمجرة درب التبانة حوالي مئة ألف سنة ، وبالتالي ، كل فعالية ذكية منظمة لتلك المجرة يجب أن تكون أبطأ من ذلك ، وهذا عديم المعنى بمعاييرنا كافة .

وللقوتين النوويتين مشاكلهما أيضاً . فنواة الذرة تتألف من البروتونات ذات الشحنة الكهربائية الموجبة والنترونات المعتدلة كهربائياً ، وتترابط مكونات النواة هذه معاً بفعل القوة النووية الشديدة . إن السبب في أن الحياة تبدو مستحيلة على الأساس النووي يكمن في طبيعة توازن القوى ضمن النواة . ففي الوقت الذي تعمل فيه القوة الشديدة على ربط جميع البروتونات والنترونات معاً ، تجعل القوة الكهربائية البروتونات تتنافر فيما بينها وذلك بسبب تماثل شحناتها . صحيح أن قوة الترابط النووية أشد بكثير من قوة التنافر الكهربائية ، إلا أنها قصيرة المدى جداً إلى درجة أنها تتلاشى كلياً عندما تزيد المسافة بين الجسيمات المتجاذبة عن جزء واحد من عشرة ملايين مليون من السنتمتر . وهذا يعني أن النترون أو البروتون يتجاذب مع أقرب جيرانه فقط ، في حين أن التنافر الناجم عن القوة الكهربائية يحصل بين بروتونات النواة كافة ، لأن القوة الكهربائية تتلاشى ببطء مع المسافة . فالفارق بين هاتين القوتين يعمل إذن لصالح التنافر الكهربائي في النوى الأغنى بالبروتونات .

لو زاد عدد البروتونات في النواة عن حد معين ، لطغت قوة التنافر الكهربائي على قوة التجاذب النووي ، ولانفجرت النواة . لتفادي الانفجار ، وللمحافظة على توازن القوى ، تحتوي النوى الثقيلة على نترونات أكثر ، إذ أن الأخيرة تسهم في زيادة قوة الترابط النووي دون أن تؤدي إلى زيادة في قوة التنافر الكهربائية . لهذا نجد أن العناصر الخفيفة فقط تحتوي في نواها على عدد متماثل من البروتونات والنترونات (نواة الأكسجين تحتوي على ثمانية من كل منهما) ، في حين أن نواة اليورانيوم ، وهو أثقل العناصر على الأرض ، تحتوي على ٩٢ بروتوناً وعلى عدد من النترونات يصل إلى

١٥٠ نتروناً. وهناك عناصر أخرى ذات نوى تحتوي على عدد أكبر من البروتونات، لكنها جميعاً، كاليورانيوم غير مستقرة وتتفكك بالإشعاع النووي بسرعة كبيرة.

أما القوة النووية الضعيفة، فهي أضعف بكثير من القوة الكهرطيسية، ومداها قصير جداً أيضاً إلى درجة أنه لم يمكن حتى الآن قياسه كبعد محدد. ولا تلعب القوة الضعيفة أي دور في ترابط مكونات النواة معاً، بل على العكس، تبدو فعاليتها مقتصرة على بعثرة الجسيمات دون الذرية وحتى تفككها. ومن الأمثلة على ذلك، ما يحصل للنترون عندما يتحرر من النواة ليصبح وحيداً؛ إذ بعد حوالي خمس عشرة دقيقة ينفجر النترون ليظهر مكانه بروتون والكترون، ونوع آخر من الجسيمات دون الذرية، وهو ما يعرف بالنترينو. لكن هذا التفكك لا يحصل ضمن النواة بسبب خاصة كمومية أساسية، وهي خاصة الانتفاء التي ينص عليها مبدأ باولي الذي أتينا على ذكره في الفصل الرابع. فحسب هذا المبدأ، وبما أن البروتونات جميعاً متماثلة، لا يمكن لاثنين منها (على وجه التقريب) أن يحتلا حالة كمومية واحدة، بمعنى أن موجتي البروتونين يجب أن لا تتداخلا كثيراً، وهذا ما يعبر عنه بالمصطلحات الفيزيائية أنهما لا يستطيعان أن يتقاربا كثيراً. فإذا حاول نترون ضمن النواة أن يتفكك إلى بروتون والكترون ونترينو، لن يجد البروتون الناتج لنفسه مكانا يستقر فيه إذا كانت جميع مواقع النواة محتلة من قبل بروتونات أخرى، وهذا ما يمنع تفكك النترون ضمنها.

إن بنية النواة تشبه إلى حد ما بنية الذرة. فكما أن الكترونات الذرة تكون مأسورة حول النواة في سويات طاقة محددة، كذلك تكون البروتونات والنترونات أسيرة في سويات طاقة محددة ضمن النواة؛ وعندما تكون سويات الطاقة الدنيا ممتلئة، فإن على الجسيمات الإضافية أن تذهب لتحتل سويات طاقة أعلى. وفي معظم أنواع النوى لا يمتلك النترون طاقة كافية ليضع بها البروتون (الناجم عن تفككه إن حصل) في أحد سويات الطاقة العليا، لكن إذا احتوت النواة على عدد كبير من النترونات، فإنها تتجاوز المشكلة. السبب هو أن النترونات أيضاً تخضع لمبدأ باولي في الانتفاء، ولذلك يجب على الفائض منها أن يجد لنفسه سويات طاقة عليا. عندئذ، ومن موقعها ذاك، يكون هناك موقع حر للبروتون الناجم عن تفكك النترون. ومن هذا ينتج أن النوى الغنية بالنترونات هي نوى غير مستقرة وتتحول إلى نوى ذات عدد كبير من البروتونات، وهذه بدورها غير مستقرة أيضاً كما بيّنا أعلاه. وهكذا، فإن كل نواة غنية بالبروتونات والنترونات لا تستطيع المحافظة على بنيانها، الأمر الذي يتجلى على شكل إشعاع نووي، يعرف بأشعة غاما وأشعة بيتا. إن هذين النمطين من الإشعاع يضمنان فيما بينهما عدم إمكانية الاستمرار طويلاً للنوى التي يزيد محتواها عن حوالي المئتين

من الجسيمات النووية، وليس هذا العدد، بحال من الأحوال، كافياً لتأمين التعقيد والتنوع الكبيرين اللازمين للحياة.

النتيجة التي يمكن استخلاصها مما تقدم هي أن القوة الكهرطيسية على ما يبدو هي القوة الوحيدة القادرة على إنتاج البنى المركبة المعقدة والمتنوعة التي يمكن أن تتقبل أي وصف معقول للحياة. وبهذا نكون قد وصلنا إلى تعريف للحياة على أنها الانتظام الكهرطيسي للطاقة القائم ربما على الترابط الكيميائي. فيما يلي، سوف نتبنى منحى محافظاً في مناقشتنا حيث سنفترض أن الحياة الوحيدة الممكنة هي تلك المشابهة للنمط المعروف على الأرض.

بالالتفات الآن إلى الظروف في العوالم الأخرى من الفضاء العظيم وإلى مدى ملاءمتها للحياة، نجد أن من الضروري وضع المناقشة في إطار كوني شامل. إنه ليس من المهم أن لا تكون الحياة قد ظهرت على الأرض في العوالم الأخرى، بل أن تكون قد نشأت في موضع ما منها. فاهتمامنا الرئيسي هنا هو ما إذا كان من الممكن للحياة أن تنشأ في عالم بديل ما. إن الشمس، بموجب فهمنا الحالي لعلم الفلك، هي نجم نموذجي، ولذلك يجب أن نتوقع بشكل عام أن يرافق النجوم الأخرى كواكب كتلك المعروفة في المنظومة الشمسية. لكن الكواكب أصغر من أن ترى ولو بأقوى التلسكوبات، ولذلك ليس لدينا من أدلة على وجودها في جمل النجوم الأخرى ما عدا الأدلة غير المباشرة. فمما هو معروف عن طريقة تشكل النجوم، ومن معرفتنا بوجود ما يشبه المنظومة الشمسية حول كل من المشتري وزحل (لكل منهما عدة أقمار)، يمكن الافتراض أن لمعظم النجوم كواكب تدور حولها، وبعضها يجب أن يكون مشابهاً للأرض. فمجرتنا (درب التبانة) تحتوي على حوالي مئة مليار من النجوم المجتمعة معاً على هيئة حلزون عملاق، شأنها في ذلك شأن مليارات المجرات الأخرى المتبعثرة في أرجاءالفضاء الكوني؛ وإنْ كان هذا يعني شيئاً فإنه يعني أن ليس هناك من خصوصية تتميز بها الأرض، وبالتالي قد لا تكون الحياة عليها تلك الظاهرة المتميزة. إذ على الرغم من عدم وجود دليل قاطع على وجود الحياة في مواقع أخرى من الكون، فإن من المستغرب أن لا تكون فيها مثل تلك الحياة. فعدد النجوم كبير إلى درجة أنه حتى ولو كان احتمال الحياة ضئيلاً للغاية، فإن إمكانية نشوئها في أماكن أخرى تبقى قائمة. لذلك يجب أن يطرق الموضوع من منظور كوني واسع. فالشروط الحياتية على الأرض أو بالقرب من الشمس أقل شأناً بكثير من أن يكون لها مغزى في المبدأ البشري.

بما أن بنية الكون بمجمله هي موضوع الاهتمام، فإننا لسنا بحاجة للتفكير أكثر مما ينبغي

بعوالم الفضاء العظيم الأخرى المتفرعة عن كوننا في هذه اللحظة ، ذلك لأن هذه الأكوان تشابه كوننا إلى حد بعيد في خصائصها العامة . والسبب في هذا هو أنه على الرغم من أن تغيراً طفيفاً في حركة ذرة ما أو في موضعها قد يؤدي إلى تغيير كبير في بنية الجينات التي تصنع في المستقبل زعيماً سياسياً قادراً على إشعال أو درء حرب عالمية كبرى (انظر نهاية الفصل السابق)، إلا أن هذا التغيير لا يستطيع إعادة تشكيل مجرة بكاملها .

لو أردنا معاينة الفروع المؤدية إلى عوالم بالغة الاختلاف عن عالمنا ، علينا أن نتقصى هذه الفروع إلى أصلها المشترك . وكلما كان الاختلاف كبيراً ، كان علينا العودة إلى الماضي الأبعد . إن المسألة مشابهة لموضوع الارتقاء والتطور الذي يميز الكائنات الحية ؛ فالحياة بدأت على الأرض ، قبل حوالي ثلاثة أو أربعة مليارات من السنين ، ببضعة بنى عضوية بسيطة ، ومن هذه الأصول نشأت وتفرعت الأنواع الجديدة . ومع ازدياد التعقيد في الأنواع الناتجة ازداد تنوعها إلى أن وصل عددها إلى ما هو عليه في يومنا هذا . وكل جيل يشهد أنواعاً جديدة تتفرع من النوع الرئيسي ، إلا أن خطوات التطور ضئيلة ومعدلها بطيء إلى درجة جعلتها غير ملحوظة على مدى بضعة أجيال . لذلك ، ومن أجل رد الماعز والأغنام ، أو الإنسان والقردة ، إلى أصل مشترك ، علينا أن نعود إلى الوراء بضعة ملايين من السنين . ومن أجل تحديد الأصل المشترك للإنسان والفئران ، يجب العودة إلى الوراء مئتي مليون سنة ، ويلزم ضعفاها للوصول إلى نقطة تفرع الإنسان عن الضفدع ، وإلى أحقاب طويلة ماضية قبل أن نرى تفرع الحيوانات عن النباتات .

إن استقصاء فروع الفضاء العظيم حتى نبلغ أصلها المشترك في أعماق الماضي ، يشبه البحث عن أصل الحياة على سطح الأرض . وكما ذكرنا في الفصلين الثاني والخامس ، يعتقد العلماء الدارسون لبنية الكون الكلية أن لهذا الكون أصلاً يعود إلى حوالي خمسة عشر مليار سنة خلت ، وقد ذكرنا في الصفحة ١١٦ أن هذا الأصل قد يكون ذلك المتفرد الزمكاني الأول الذي نشأ منه العالم المتجسد . فإذا كان هذا صحيحاً ، لن يكون للمتفرد من ماض نتقصاه ونتعرف عليه . بعد المتفرد بدأ الانفجار الأعظم ، ذلك الطور الأول الذي انبثق منه التوسع الانفجاري السريع للكون . إن معاينة مصير الفروع المختلفة في الفضاء العظيم تقتضي الرجوع إلى لحظة الانفجار الأعظم لنرى كيف انبثقت العوالم البديلة الأخرى من تلك البوتقة الكونية . فبالضبط كما أدت التغيرات الطفيفة التي طرأت على البنى العضوية قبل ثلاثة مليارات سنة إلى أنواع حية شديدة الاختلاف اليوم ، كذلك

يمكن للتغيرات العشوائية التي حصلت في مرحلة ولادة الكون أن تكون قد سببت اختلافات هائلة بين عوالم الفضاء العظيم المتفرعة بلا توقف.

إن التغيرات التي تهمنا هنا هي تلك المتعلقة ببنية المكان الهندسية. لقد عرضنا في الفصل الخامس فكرة الفضاء العظيم على أنه لا نهائي الأبعاد يضم جميع الفضاءات الجزئية من أمثال المكان الثلاثي الأبعاد المألوف لدينا. نحن نستطيع طبعاً أن نتصور كل عالم ببنية هندسية مختلفة، تقتصر في بعضها على مجرد التشوه، في حين أن الاختلافات في بعضها الآخر قد تصل إلى تغير البنية برمتها. وبالتالي، لا بد أن تكون هناك أكوان على كل هيئة يمكن تصورها وتخيلها. والسؤال الذي يطرح نفسه عندئذ هو ما إذا كان للبنية الهندسية لكوننا الذي نراه أي خصوصية تميزها؛ وإذا كان الأمر كذلك، فما مدى أهميتها لوجود الحياة في هذا الكون؟.

لا شك في أن مفهوم هيئة المكان أو الفضاء غامض بعض الشيء، ولا بد من إيجاد وسيلة لصياغة هذا المفهوم بلغة رياضية محكمة. لقد ابتدع الرياضيون مقادير يمكنها التعبير عن مدى انحراف شكل المكان عن الانبساط، بمعنى أنها تحدد تشوه المكان من انبعاج والتواء وتحدب في كل نقطة منه. هناك نوعان من التشوه يمكن تمييزهما بسهولة، أولهما هو اللاتناحي (Anisotropy)، وهو مقياس لمقدار تغير هيئة المكان باختلاف المنحى (أي بالاتجاهات المختلفة). فإذا كان الكون مثلاً شديد الامتطاط وسريع التوسع في منحى (اتجاه) ما، ومنكمشاً بطيء التوسع (أو ربما آخذاً بالتقلص) في منحى آخر عمودي على الأول، نقول إن الكون على درجة كبيرة من اللاتناحي. أما النمط الآخر من التشوه فهو ما يدعى باللاتجانس (Inhomogeneity) وهو مقياس لكيفية تغير هندسة الفضاء من نقطة إلى أخرى. فإذا كان الفضاء يحتوي على كثير من عدم الانتظام والتجعد ويتوسع بسرعات مختلفة في المواقع المختلفة، يكون الكون عندئذ على درجة كبيرة من اللاتجانس.

تبين النظرة المتفحصة عبر السماء أن كوننا ليس متناحياً ولا متجانساً تماماً. فالشمس مثلاً، تسبب انتفاخاً مكانياً يمثل لا تجانساً محلياً، ومجرة درب التبانة تحدد اتجاهاً معيناً في السماء يمثل نوعاً من اللاتناحي، وهو هنا غير ذي أصل محلي. لكن وعلى أي حال، ولدى توجيه التلسكوبات العملاقة إلى أعماق الفضاء الكوني، يمكن ملاحظة ظاهرة مثيرة حقاً. فبالمعايير الكونية الشاملة، حيث لا أهمية للتفاصيل المحلية الصغيرة، أي على المسافات والحجوم التي هي من رتبة أبعاد المجرات، يبدو كوننا على درجة كبيرة من التناحي والتجانس. ذلك أنه مهما كان الاتجاه الذي

ينظر فيه الفلكيون، فإنهم يرون تقريباً نفس العدد من المجرات. والأكثر من هذا؛ تبدو تلك المجرات، وعلى أي مسافة معينة كانت، مبتعدة عن الأرض بالسرعة نفسها؛ وهذا مظهر من مظاهر التناحي الشديد. أما فيما يخص التجانس، فالأدلة عليه أقل وضوحاً، إلا أن هناك نوعاً من الترابط الهندسي بين التناحي والتجانس يمكن أن يُستدل منه على أن التجانس في الكون جيد أيضاً. وبيان ذلك يأتي كالتالي: بما أن الكون يبدو لنا من الأرض متناحياً فلا بد أن يبدو كذلك من أي موقع آخر، إلا إذا كانت الأرض في موقع المركز من هذا الكون، وهذا ما لم يعد ممكناً قبوله اليوم. من ناحية أخرى، يمكن البرهان بسهولة على أن الكون المتناحي في كل مكان هو كون متجانس أيضاً. من هذا ينتج أنه إما أن نكون في مركز الكون أو أن يكون الكون متناحياً ومتجانساً في آن واحد، على الأقل في المدى الواسع الذي نحن بصدده.

إذا كان الكون متجانساً في كل موقع منه (وليس فقط إلى المدى الذي يمكن لتلسكوباتنا أن تتحسسه)، فإن ذلك يتضمن أنه غير ذي مركز ولا حافة، لأن وجودهما يحدد مواقع خاصة، مما يتناقض مع افتراض التجانس. وكما بينا في الفصل الخامس، لا يعني هذا أن الكون لامتناهي الحجم بالضرورة، لأنه يمكن للمكان أن يلتف ليلتقي مع نفسه كسطح الكرة مثلاً. على أي حال، ليس هذا بذي أهمية بالنسبة للمبدأ البشري على الرغم من أهميته البالغة للفلكيين والفلاسفة لأسباب أخرى.

على ضوء العدد اللامحدود من الأشكال والهيئات المعقدة التي كان من الممكن للكون أن يتخذها، فإنه لأمر مدهش حقاً أن نجد كوننا على تلك الدرجة من التناظر العالي الذي جعل الفلكيين والدارسين لبنية الكون غير مستعدين لقبول هذه الحقيقة دون التحري عن سببها وكيفية حدوثها. وتزداد الدهشة عندما نأخذ نظرية النسبية بعين الاعتبار. فنحن نعلم أن سرعة الضوء تلعب فيها دوراً مركزياً، بمعنى أنه لا يمكن لأي تأثير أن ينتقل بسرعة تزيد عن تلك السرعة. وعندما يكون الكون في حالة توسع، يمكن للضوء أن يتصرف على نحو غريب. فكما أن العَدَّاء على بساط متحرك يجد صعوبة في الحفاظ على تقدمه، كذلك يحصل للضوء لدى انتشاره في الفضاء المتوسع وهو يلاحق المجرات الهاربة. إن المجرات تتباعد فيما بينها لأن الفضاء في حالة تمدد دائم في كل الاتجاهات، مما يضع أمام الضوء مسافات تتمدد باستمرار على طول الخطوط التي تسلكها أشعته. وأحد آثار هذا التوسع يتمثل في امتطاط الشعاع الضوئي أيضاً، مما يزيد في طول موجته مسبباً

انزياح لونه نحو الأحمر. إن هذا هو أصل ما اكتشفه هَبْل (Hubble) من انزياح كوني طيفي نحو الأحمر واستنتج منه أن الكون في حالة توسع.

عندما ينطلق الضوء عبر الفضاء المتمدد، يتزايد طول موجته باستمرار، وعندئذ يطرح السؤال نفسه فيما إذا كان طول الموجة هذا سيمتط بلاتناه. إذا حصل ذلك، يصبح من غير الممكن للضوء أن يحمل أي معلومات على الإطلاق. يبين التحليل الرياضي الظروف التي يمكن أن تؤدي إلى تمدد طول موجة الضوء بلاتناه، وقد وجد أن النتيجة تعتمد على الطريقة التي يتوسع فيها الكون انطلاقاً من المتفرد (أصل الانفجار الأعظم). فإذا كان التوسع يجري على نحو منتظم، بمعنى أن يتضاعف الاتساع في مدة زمنية معينة، يمكن للضوء أن يصل دائماً إلى المواقع البعيدة، دون أن ينزاح نحو غياهب النسيان. أما إذا كان معدل تمدد الكون ليس ثابتاً، فقد يبلغ طول موجته قيمة لا متناهية في الكبر. وبشكل خاص، إذا كان معدل التوسع متناقصاً مع الزمن، يتشكل عندئذ حول كل بقعة من الكون نوع من الفقاعة غير المرئية تغلف المنطقة التي يمكن للمرء أن يراها. ولا يمكن للمنطقة خارج الفقاعة أن تُرى، مهما كانت قدرة التلسكوب المستخدم في النظر إليها، إذ ليس هناك من ضوء يمكن أن يصل من خارج الفقاعة إلى الناظر بسبب الطول اللامتناهي لموجته. لذلك، يمثل سطح الفقاعة نوعاً من الأفق الكوني الذي لا يمكن لنا أن نرى ما وراءه. إن الفقاعة تحيط براصد خاص في مركزها، أي أن لكل راصد فقاعته، وفقاعتا الراصدَيْن المتجاورَيْن تتراكبان إحداهما مع الأخرى. فالراصد الموجود في مجرة المرأة المسلسلة (Andromeda) المجاورة لمجرة درب التبانة قد يرى شيئاً عند حافة الكون المرئي له مما لا نراه نحن، والعكس بالعكس. إذا كان الراصدان بعيدين أحدهما عن الآخر، فإن فقاعتيهما لا تتداخلان، وعندها يكونان في عالمين مختلفين، بالمعايير كلها.

لاستقصاء ما إذا كان هناك أفق في الكون الحقيقي، يمكن اللجوء إلى الرياضيات. تقدم نظرية آينشتاين في النسبية العامة معادلة رياضية تربط حركة الفضاء مع محتواه من المادة، أي المادة الثقالية. وحل هذه المعادلة من أجل الحالة البسيطة لكون متجانس يقود إلى نتيجة مفادها أنه طالما بقي ضغط المادة وطاقتها مقدارين موجبين (وليس يُعرف مثال مخالف لذلك)، فإن معدل التوسع لا بد أن يتناقص؛ وهذا ما يجعلنا نستنتج أن التوسع الانفجاري للكون (إبان الانفجار الأعظم) آخذ بالتباطؤ تدريجياً، وقد أصبح هذه الأيام أبطأ بحوالي مليار مليار مرة مما كان عليه عندما كان عمر الكون حوالي ثانية واحدة فقط. إن ما يمكن استنتاجه من هذا هو أن هناك أفقاً لكوننا فعلاً.

إن الفقاقيع الكونية لا تبقى ساكنة، فسطوحها تتوسع بسرعة الضوء، مما يعني دخول مناطق جديدة من الكون حيز الرؤية بمرور الزمن. بتعبير آخر، وعلى وجه التقريب، ينمو الأفق الكوني بمعدل يساوي سرعة الضوء. من هذا ينتج أن المسافة إلى الأفق يجب أن تكون المسافة التي قطعها الضوء من مركز الفقاعة خلال عمر الكون. إن المسافة إلى أفقنا الكوني اليوم تبلغ حوالي خمسة عشر مليار سنة ضوئية، ولذلك، وإذا كان بإمكاننا النظر حتى حافة الأفق، فإننا سنكون قادرين على رؤية ولادة الكون. لكن الكون كان لسوء الحظ، وحتى حوالي المئة ألف سنة بعد الانفجار الأعظم، غير شفاف للضوء، وبالتالي يكون أبعد ما يمكن للمرء أن يرى من الماضي السحيق هو تلك الحقبة من الزمن. أما المعلومات عن العهود الأقدم، فتأتي من مصادر غير مباشرة.

يمكن فهم علاقة الأفق بطبيعة التمدد الكوني من خلال التوغل إلى ماضي الكون أكثر فأكثر وصولاً إلى المتفرد وأصل الكون. فبعد ثانية واحدة من بدء الانفجار الأعظم، كان قطر الفقاعة مساوياً ثانية ضوئية واحدة (أي ٣٠٠ ألف كيلومتر)، وعندما كان عمر الكون جزءاً واحداً من ألف مليون من الثانية، كان قطره لا يزيد عن ثلاثين سنتمتراً، وعندما كان عمره مساوياً لأصغر وحدة زمنية ذات مغزى، أي لمحة واحدة (١٠^-٤٣ ثانية) كان أفق الكون على درجة من الصغر بحيث أن حيزاً بحجم الكشتبان يمكن أن يحتوي على فقاقيع كونية يزيد عددها عن واحد على يمينه مئة صفر. واليوم تمثل الفقاقيع مناطق من المكان ليس بينها أي شكل من أشكال الاتصال الفيزيائي، فسطح الفقاعة هو أبعد ما يمكن لمركزها أن يعرف عنه شيئاً؛ وما يحصل وراء هذا الحد لا يمكن أن يكون له أي تأثير فيزيائي على ما يحصل داخل الفقاعة. وبالرجوع عبر الزمن إلى حقبة اللمحة الواحدة بعد الانفجار الأعظم، نصل إلى حيث كانت الفعالية الكمومية تجعل الزمكان مضطرباً إلى درجة لم يكن هناك معها معنى للاستمرارية على الإطلاق. فقد كان الزمكان عندئذ أشبه بالزبد. وضمن مدة اللمحة الواحدة، يفقد التفرع الذي تقول به نظرية إفرت كل معنى، ولذلك يمكن أن نعتبر اللمحة نقطة البداية في هذه المسرحية الكونية.

ما هي الهيئات الفضائية التي يمكن أن تنبثق من عالم اللمحة حيث توجد كل الإمكانيات متداخلة مع بعضها على نمط تداخل الموجات؟ في تلك الحقبة، كان الأفق صغيراً جداً إلى درجة أن حجمه كان من رتبة أحجام جسور وأنفاق زبد عالم اللمحة، ولذلك فإن نمط التوسع الذي كان سائداً حينئذ يعكس الفوضى الهائلة التي عمت تلك الحقبة الكمومية من عمر الكون. فإذا أضفنا

هذا إلى أن كل فقاعة لا تستطيع أن تعرف عن سواها شيئاً، فما الذي يجعلها تنمو معاً بمعدل واحد، ويجعل بالتالي الكون على هيئته الحالية، في الوقت الذي كان يمكن له أن يكون في أي هيئة أخرى؟.

إن هذا هو الذي يؤدي بنا إلى أعظم لغز من ألغاز المسرحية الكونية. فكما قدمنا، تبين المشاهدات أن الكون شديد التناظر والتجانس، سواء في توزع المجرات في الفضاء الكوني أو في نمط حركته التوسعية. فإذا كان الكون المنبثق من عالم اللمحة مؤلفاً من عدد لا حصر له من المناطق المستقلة بعضاً عن بعض سببياً، فلماذا كان عليها أن تتعاون معاً لتنتج حركة توسعية متناسقة ومنتظمة؟ إذا كان الكون قد بدأ عشوائياً، فلا بد أن يكون قد أخذ بالتوسع على نحو شديد من الاضطراب والفوضى، بحيث تأخذ كل فقاعة من المكان، مع عالمها المأسور ضمن أفقها، بالانفجار على طريقتها الخاصة بها. ولما لم يكن يوجد بين الفقاعات تأثير فيزيائي متبادل، فليس من سبب يدعوها للتعاون معاً. والأكثر من هذا، إذا كانت الطاقة عندئذ موزعة عشوائياً على جميع أنماط التوسع الممكنة، فإن معظم هذه الطاقة سيؤول إلى حركة عشوائية، ولا يبقى منها سوى جزء ضئيل جداً في حركة ناعمة منتظمة متناحية على النحو الذي نراه فعلاً. وباختصار، إذا كان هذا الكون واحداً من ذلك العدد الهائل من الفعاليات العشوائية التي يمكن أن تنبثق عن الانفجار الأعظم، فلماذا اختار لنفسه مثل هذا النمط من التوسع المتجانس المتناظر؟.

يمكن أن نجد في المناقشة التي قدمناها في الصفحة ٣٣ حول الشروط البدئية ما يفيد في تسليط الأضواء على هذه الطبيعة المتميزة للتوسع الكوني. فلو تصورنا مخططاً يحتوي على نقاط تمثل كل منها حالة توسع بدئية معينة للكون، فإن نقطة واحدة فقط سوف تمثل حالة التوسع المتجانس والمتناحي تماماً. من ناحية أخرى، ولما كنا لا نستطيع لأسباب تقنية بحتة أن نكشف انحرافات التجانس التي تزيد في قيمتها عن عتبة أصغرية معينة، فإن كل ما يمكن أن نقوله عن الكون هو أنه متناظر ومتناحٍ جداً تقريباً (بدقة واحد بالألف من أجل التناحي)، ولذلك يتم تمثيله على مخططنا ببقعة صغيرة تمثل كل الشروط البدئية الممكنة المتوافقة مع هذا الانتظام العالي الذي نلحظه. وفي خارج هذه البقعة تقع النقاط الممثلة للحالات العشوائية الأخرى. الآن، وإذا كان الكون قد اختير فعلاً على نحو عشوائي من هذه الإمكانيات كافة، فإن ذلك سيكون كمحاولة شك دبوس في المخطط، ومن الواضح أن الحظ في وقوع الدبوس في البقعة الصغيرة حظ ضئيل للغاية. قد لا يكون المثال دقيقاً تماماً، لأننا لا نعرف كيف نقيس المساحات على المخطط، فمساحة البقعة غير محددة

بالضبط، إلا أنه يعطي فكرة واضحة عن الأمر: إن احتمال ظهور الترتيب الكوني الحالي بالمصادفة البحتة ضئيل لدرجة لا تذكر.

هناك تشبيه مفيد يمكن أن يوضح مسألة التوسع الكوني، وهو كالتالي. تصور مجموعة كبيرة من العدائين المحتشدين في مكان ما، وهَبْ أن كلاً منهم يمثل بشخصه منطقة من المكان محصورة ضمن أفق خاص بها (فقاعة مكانية). ومن أجل تمثيل عدم وجود أي اتصال فيما بين الفقاقيع، نضع عصابة على عيني كل منهم، وبذلك يكون جاهلاً بما يفعله الآخرون. يمثل حشد العدائين المرتص في البداية المتفرد البدئي؛ ولدى إطلاق صوت الصافرة يبدأ الجميع بالعدْو، كل منهم في اتجاه حسبما يشاء، ولكن على مسار مستقيم، ممثلين بذلك الانفجار الأعظم وتوسع الكون. عندئذ، ستبدو مجموعة العدائين على شكل حلقة، علماً أن لدى كل منهم تعليمات تتطلب منه التحكم بسرعته بما يحافظ على بقاء الحلقة أقرب ما يمكن إلى الدائرة في أثناء توسعها. لكن أياً من العدائين لا يستطيع أن يعرف تصرفات زملائه كي يضبط سرعته بما يحقق الحلقة الدائرية، مما يعني أن كلاً منهم سوف يتحرك بسرعة كيفية عشوائية، والنتيجة هي بالتأكيد حلقة مشوهة بعيدة عن الدائرة. طبعاً، هناك إمكانية، وبالمصادفة البحتة، لأنْ تتطابق سرعات العدائين مما يجعل الحلقة دائرية تماماً، إلا أن احتمال حدوث ذلك ضئيل للغاية. إن ما نراه اليوم من كوننا يطابق حالة مجموعة من العدائين على شكل حلقة أشبه ما تكون بالدائرة بحيث أن التشويه في شكلها يكاد يكون معدوماً، أو على الأقل، غير قابل للقياس بسبب ضآلته. فكيف يمكن لهذا أن يكون قد حدث؟ هل هناك من معجزة؟ منذ حوالي بداية السبعينيات، ظهرت محاولة ذكية لتفسير هذا التناحي الفريد، وبلغة العدائين كان الاقتراح كالتالي: في لحظات الانطلاق الأولى سيكون بعض العدائين أسرع من البعض الآخر، لكن بعد مدة، يبدأ التعب والإجهاد بالنَيل من هؤلاء مما يجعلهم يتباطؤون في عدوهم. وبالمقابل، لن يكون زملاؤهم قد بددوا الكثير من قدراتهم، الأمر الذي يعطيهم الفرصة للتقدم وبالتالي لسد الفجوة الناجمة في بداية السباق. النتيجة النهائية، وبعد زمن كافٍ طبعاً، هي حلقة دائرية من العدائين المنهوكي القوى اللاهثين بسرعة بطيئة للغاية.

وباللغة الكونية تصبح الفكرة كالتالي: في الطور البدئي، أي في اللحظات الأولى لولادة الكون، أخذت بعض مناطقه بالتوسع على نحو عنيف جداً بالمقارنة مع بعض المناطق الأخرى، مما جعل بعض الاتجاهات ممتطة أكثر من غيرها. إلا أن تبديد الطاقة في الاتجاهات ذات الفعالية الأعلى (أي التوسع الأسرع) كان أكبر، الأمر الذي أدى إلى نقصانها على نحو أسرع، وبالتالي إلى

تخامد حركة توسعها، وهذا ما ساعد مناطق التوسع البطيء على تدارك الموقف. وفي النتيجة، تأخذ الحركة العشوائية المضطربة في لحظات الكون الأولى بالتخامد مع الوقت والتباطؤ إلى حركة ذات درجة عالية من الاتساق، كما نلاحظ اليوم.

لكي يكون هذا التفسير صحيحاً، يجب أولاً معرفة آلية تبديد الطاقة الكونية، أي الآلية التي تقابل الإجهاد والتعب الذي يعاني منه العداؤون، والقادرة على إعاقة الحركة الشديدة والعنيفة أكثر من إعاقته للحركة البطيئة. هناك العديد من المقترحات لتحقيق ذلك، أحدها هو أثر اللزوجة العادية التي تعيق حركة الطائرة أو القارب. وهناك إمكانية أخرى جرى استقصاؤها بعمق في السنوات الماضية، هي الانبثاق التلقائي لجسيمات ذرية جديدة من الفضاء الخالي. وهذا يمكن أن يحصل بسبب إمكانية تحول طاقة الحركة إلى مادة حسب نظريتي النسبية والكم، كما أوضحنا في الفصل الرابع، حيث تدل الحسابات على أنه يمكن للجسيمات كافة أن تُنتَج على هذا النحو: الالكترون والبروتون والنترون والنترينو والفوتون والغرافيتون. إن الأثر الناجم عن نشوء أشكال المادة هذه يتجلى في نضوب طاقة التوسع وبالتالي في تباطئه ليقترب من التناحي في كل الاتجاهات. يكمن عيب هذا التفسير في خاصة جوهرية تتمتع بها الآلية المذكورة، وهي أن فعاليتها تكون على أشدها في اللحظات المبكرة بعد الانفجار الأعظم عندما تأخذ سرعة التوسع أعلى قيمة ممكنة لها. لذلك، يجب أن لا يكون الاضطراب البدئي قد دام طويلاً، بل استحال كلياً إلى جسيمات.

على أي حال، ومهما كانت الآلية المقترحة، فإن نتيجة تبدد الطاقة في نهاية الأمر هي التسخين، وذلك بناء على قانون الثرموديناميك العام الثاني الذي يحكم كل أشكال الطاقة والذي ينص على أن كل فعالية تبديدية تولد الحرارة حتماً. فعلى الأرض، جعل أثر تبديد الطاقة في المعامل والآليات والمنازل العلماء يتنبؤون بيوم تكون فيه نهاية القطبين الجليديين. في لحظات ولادة الكون الأولى، كان إنتاج الحرارة عظيماً للغاية بسبب تولد الجسيمات والآثار التبديدية الأخرى، وأخذ الانفجار الأعظم هيئة الفرن الذي تجاوزت فيه درجة الحرارة كل ما هو في الكون الآن، حتى تلك الموجودة في مركز أسخن النجوم. ففي عام ١٩٦٥، حصل أحد أهم المكتشفات العلمية المثيرة عندما تمكن مهندسان مصادفةً من تحسس آثار الحرارة الكونية الأولى في أثناء عملهما في اتصالات الأقمار الصناعية لدى مخابر شركة بل (Bell) الأمريكية. فبما أن الكون الآن أكبر بكثير مما كان عليه في حقبته البدائية، اضمحلت الحرارة إلى لا شيء تقريباً، وما بقي من آثار الولادة الكونية الجحيمية هو حرارة مقدارها حوالي ثلاث درجات فقط فوق الصفر المطلق. يغمر هذا الإشعاع الحراري الآتي

من كل اتجاهات الفضاء الكون بالكامل على ما يبدو ، وهو دليل جيد على أن نظرية الانفجار الأعظم صحيحة إلى حد بعيد . إنه يقدم أيضاً أفضل الوسائل المتاحة لاختبار مدى تناحي الكون في مراحله الأولى ، لأن هذا الإشعاع الحراري يحمل معلومات عن الحقبة التي تحول فيها الكون من كتيم للضوء إلى شفاف بعد ولادته بحوالي مئة ألف سنة . ففي ذلك الحين ، كانت الحرارة قد انخفضت إلى بضعة آلاف درجة فقط ، وغدت غازات الكون عندئذ غير قادرة على امتصاص الإشعاع . إن ما يمكننا قوله الآن هو أن الكون كان في تلك الحقبة متناحياً بدقة تساوي واحداً بالألف .

إن للتسخين البدائي أهمية بالغة أيضاً في فهمنا للمراحل المبكرة جداً من عمر الكون . فنحن لا نعلم سوى القليل عن تفاصيل الفيزياء التي كانت تحكم المادة في الفترة ما بين لمحة واحدة وثانية واحدة بعد البداية ، اللهم إلا بضعة مبادئ أساسية وتحليلات رياضية نستعين بها . فيمكن مثلاً أن نحاول حساب مقدار التسخين الناجم عن تبديد كمية من الاضطراب وأن نقارن النتيجة مع الدرجات الثلاث التي نلاحظها اليوم ، ومن ذلك يمكننا استنتاج مدى الفوضى التي كانت سائدة في لحظات الكون الأولى . تقول نتيجة الحساب إن كمية التسخين الناتجة عن مقدار معين من الاضطراب تعتمد بالضبط على اللحظة التي جرى فيها التحول . ويعود السبب في هذا إلى أن التبديد حصل حين كان الكون في حالة توسع ، والتوسع ذاته يتصف بأنه يؤدي إلى إنقاص كل من طاقة التسخين (ولذلك نجد الإشعاع الكوني بارداً الآن) وطاقة الاضطراب . إلا أن التحليل الرياضي يبين أن طاقة الاضطراب تتلاشى على نحو أسرع بكثير مما تفعل طاقة التسخين نتيجة للتوسع ، وهذا يعني أنه كلما كان تحول الاضطراب إلى تسخين مبكراً كان مقدار التسخين أكبر . إن هذه المعلومة البسيطة تمثل في الواقع أحجية كبيرة ، ذلك أن كل آليات التبديد ، كنشوء الجسيمات وغيرها ، تكون في أعلى مردود لها في اللحظات المبكرة . وبكلمات أخرى ، نجد أن أي عدم تناحٍ يجب أن يؤدي إلى حرارة أعلى مما نلاحظه اليوم . ويبدو فعلاً أن ما نلاحظه الآن هو أقل مقدار ممكن للتسخين الأولي في الكون .

ليس من الممكن للكون أن لا ينتج تسخيناً على الإطلاق ، إذ يجب أن يكون هناك بعض الاضطراب في الطور البدائي . وهذا لأن الكون في نهاية اللمحة الأولى من عمره لا بد أن ينطوي على اضطرابات مكانية كمومية ، وهذه وحدها تؤدي إلى عدم الانتظام وعدم التجانس . وبحساب أولي نستطيع أن نعرف مقدار التسخين الذي يمكن أن ينتج عن تلك الاضطرابات الكمومية ، وقد تبين

أن هذا المقدار قريب جداً مما نلاحظه اليوم. من ذلك يتضح أنه لم يكن هناك الكثير من التبديد إلى جانب ذلك الناجم عن الاضطراب الكمومي.

هذا وحتى لو كنا مخطئين في حكمنا على آلية التبديد فإن هناك سبباً آخر يجعل الاضطراب الأولي الزائد غير محتمل. إن إسهام اضطراب الطاقة في مجمل محتوى الكون من المادة والطاقة يمكن أن يحسب معاً إلى جانب أثره على معدل التوسع الكلي للكون. والنتيجة هي أنه عندما يكون اضطراب الطاقة هو السائد، فإنه يؤدي إلى إبطاء معدل التوسع العام بمقدار ملحوظ، وكأن الكون ينسى وهو في مخاضه المضطرب ذلك التوسع. ويقود التأخير الناجم عن ذلك إلى أثر ثانوي هو أن الإشعاع الحراري الناتج عن الاضطراب الكمومي، أي الحرارة الكمومية، بعد لمحة واحدة لن يبرد بالسرعة التي كان يمكن أن يبلغها في كون أسرع توسعاً وأكثر انتظاماً. وينتهي الأمر بنتيجة ذلك إلى حرارة مفرطة مرة أخرى. ففي كلتا الحالتين إذن، سواء تحول الاضطراب إلى حرارة أم أدى إلى تباطؤ التمدد الكوني ومنع السخونة الكمومية من الانخفاض، فإن النتيجة النهائية هي نشوء حرارة أعلى مما نلاحظ فعلاً. لذلك يبدو أن الإشعاع الكوني السائد اليوم هو دليل بيِّن على أن الكون قد ولد منتظماً منضبطاً قبل أن يبلغ عمره واحداً من عشرة ملايين مليار مليار مليار جزء من الثانية... ويا له من استنتاج!.

إذا كانت المحاكمة السابقة صحيحة (وبعض علماء الكون يشكون فيها) فإنها تعود بنا ثانية إلى اللغز الكبير، وهو لماذا بدأ الكون بهذا التناسق والانتظام. هنا يمكن للمبدأ البشري أن يقدم لنا المساعدة. فعلى الرغم من أن الإشعاع الحراري البدئي مجهول تماماً ـــ وكشفه، إنْ كان له أن يتم يحتاج إلى تقنيات خاصة ـــ فإن مضاعفته مئة مرة فقط يمكن أن تؤدي إلى عواقب خطيرة بالنسبة للحياة. فلو أن درجة الحرارة تجاوزت مئة درجة مئوية مثلاً، لما كان هناك ماء سائل في أي بقعة من الكون، ولكانت الحياة على الأرض مستحيلة؛ بل هناك شك في إمكانية قيام أي شكل للحياة على الإطلاق. ولو تضاعفت الحرارة ألف مرة، لأدى ذلك إلى تهديد وجود النجوم ذاتها، وذلك برفع درجة حرارة سطحها وما يؤدي إليه من تنامي التسخين الداخلي في جوفها. والأكثر من هذا هو أن هناك شكاً في إمكانية تشكل النجوم والمجرات من الأساس في ظروف الإشعاع الحراري عندئذ. فمما نعرفه عن تلاشي اللاتناحي البدئي، يبدو أن حتى المقدار الضئيل منه يمكن أن يزيد الحرارة البدئية مليارات المرات، وهذا ما يجعل درجة حرارة الكون حساسة جداً لأي اضطراب يحصل في الطور البدئي. أضف إلى ذلك أن أثر تمدد الكون على نقصان درجة الحرارة لا يغير من الأمر شيئاً،

إذ يلزم في الوقت الحاضر مليارات السنين لكي تنخفض الحرارة بمقدار نصف درجة فقط، وسوف تكون النجوم قد احترقت وتلاشت كلياً قبل أن تنخفض الحرارة إلى واحد بالمئة من قيمتها الحالية. فإذا كان على الحياة أن تنتظر طوال ذلك الزمن لكي تظهر، فإنها لن تجد أشعة الشمس التي تمثل مصدر الطاقة الأساسي لها.

بناء على هذا، يجب أن لا نستغرب توسع الكون على هذه الصورة المنتظمة البديعة، اللهم إلا إذا كان تقديرنا للارتباط بين الإشعاع الحراري الكوني والاضطراب البدئي غير صحيح. فلو لم يكن الأمر كذلك، لما كنا هنا — في الوجود — نتأمل به ونتعجب، ولكان وجودنا مصادفة شبه مستحيلة. ذلك أن من بين كل العوالم الممكنة، نجد أن كوننا قد اختار هذا النمط الفريد من التوزع المنتظم للمادة والطاقة فيه، مما أتاح له التبرد بما يكفي لظهور الحياة. لكن لو أخذنا بالتفسير المعتمد على الأكوان المتعددة، لأمكن القول أنه من بين العدد اللامتناهي من الأكوان المضطربة الساخنة، لابد أن يكون عدد ضئيل منها قد برد بما يلائم الحياة التي تزدهر وتنمو حيث تتوفر الشروط المثلى لها، وهذا ما يتحقق في الكون الأكثر برودة. وبالتالي ومن وجهة النظر هذه، ليس مصادفة أن نجد أنفسنا نعيش في كون كان التسخين البدئي فيه أقرب إلى الأمثل. ومن بين الأكوان الأخرى كافة، هناك حفنة ضئيلة مشابهة لعالمنا تقطنها مخلوقات ذكية تتعجب وتندهش وتطرح الأسئلة الكبرى حول الوجود والكون؛ أما بقية العوالم، فتمضي لشأنها عقيمة جدباء في جحيم مستعر ليس فيه من يسأل أو يتعجب!

٩

هل الكون مصادفة؟

لقد ناقشنا في الفصل السابق كيف أن المراقب لا بد أن يصادف خصائص ومميزات معينة في عالمه تبعاً لحقيقة أنه يستطيع الوجود من حيث المبدأ. فإذا كنا نعتقد بوجود كون حقيقي وحيد، فإن التوزع الفريد المنتظم للمادة الكونية، وما ينتج عنه من برودة الكون، لا يمكن أن يخرج عن نطاق المعجزة، وهذا الاستنتاج يشبه إلى حد بعيد الصورة الدينية التقليدية للكون الذي خلقة الله لغاية محددة وهي استيطانه من قبل الإنسان. وإذا قبلنا، من ناحية أخرى، بالتفسير المعتمد على الأكوان المتعددة في نظرية الكم، وفق اقتراح إفرت، فإن بنية الكون الحالية ليست في حال من الأحوال أمراً عجباً، ولا هي مصادفة نادرة الحدوث، بل هي نتيجة انتخاب حيوي: فنحن، كمراقبين، ظهرنا إلى الوجود فقط في ذلك العالم حيث الانتظام البديع. فكل شيء حقيقي في الفضاء العظيم، بجميع أكوانه، إلا أن عدداً ضئيلاً من تلك الأكوان هو المأهول بالحياة. إن الاختيار بين الفكرتين يبدو أقرب إلى الفلسفة منه إلى الفيزياء، وقد لا يعدو أن يكون أكثر من نمط للتعبير. إذ عندما يعزو سباح نجاحه إلى حظه الكبير في حين يشكر آخر ربه على توفيقه، أفتراهما يقولان شيئين مختلفين حقاً؟.

لقد جرى في السنوات السابقة تطبيق المبدأ البشري على عدد آخر من خصائص كوننا التي يبدو أن الحياة تعتمد عليها بشكل كبير. فالكون، بالإضافة إلى أنه متناح، يبدو على المسافات الكبيرة متجانساً أيضاً من حيث توزع المادة فيه. لكن لو كان متجانساً أكثر من اللازم لما كانت فيه مجرات، وربما ما كانت فيه حياة. لقد كان على الكون أن يقف على حافة التوازن تماماً بالنسبة

لمحتوى المادة فيه : فلو كانت المادة قليلة لبقيت مجرد غاز في حالة اضطراب ، ولو كانت أكثر تركيزاً لتهدد وجودها بالكامل ولاختفت من الوجود تحت تأثير ثقالتها .

إن الثقالة ، كقوة كونية ، تجعل كل أجزاء المادة تنجذب بعضاً إلى بعض . فهي ، في كرة كبيرة من الغاز ، تجعله ينكمش تدريجياً مما يحرر كمية أكبر من طاقتها ويحولها بالتالي إلى حرارة تتركز بشكل خاص قرب مركز الكرة . وبالنتيجة ، وبازدياد الحرارة ، يتنامى الضغط الداخلي الذي يصبح عندئذ قادراً على تحمل ثقل طبقات الغاز التي يغلف بعضها بعضاً ، ويتوقف الانكماش . إن هذا هو حال الشمس وبقية النجوم التي تعيش الآن في توازن مستقر وبقطر ثابت . لا يمكن بالطبع للحرارة أن تبقى في الأسر إلى الأبد ، وذلك لأنها تسعى تدريجياً نحو السطح ومن ثم تنتشر بالإشعاع في الفضاء الكوني . فإذا لم يكن هناك ما يعوض هذا الفقدان الحراري ، فإن الثقالة تتغلب ثانية على الضغط الداخلي ، ويعود الانكماش ليحصل من جديد . لكن هذا الانكماش مؤجل في النجوم إلى بضعة مليارات من السنين ، وذلك بسبب مصدر آخر للتسخين ، هو الاحتراق النووي .

تتألف معظم مادة الكون من الهيدروجين ، أخف عنصر كيميائي في الوجود . وتتركب ذرة الهيدروجين من جسيمين ذريين فقط ، هما الالكترون والبروتون ، ولذلك فإن نواتها بسيطة وغير مركبة ، خلافاً للعناصر الكيميائية الأخرى . لكن الهيدروجين ليس أكثر المواد استقراراً على صعيد البنية النووية . فلقد بيّنا في الفصل الثامن أن النوى المركبة المؤلفة من العديد من البروتونات والنترونات تتماسك بفعل قوة نووية شديدة تتغلب على قوة التنافر الكهربائي بين البروتونات . في النوى الخفيفة ، كالهليوم والأكسجين والكربون والآزوت ، ذات العدد القليل من البروتونات ، هناك ربح من تجمع مكونات النواة معاً في قوقعة واحدة ، والنواة عندئذ أكثر استقراراً من كل مكوناتها الإفرادية . ولذلك تتحرر طاقة من عملية التجميع . وبالعكس ، فإنه يلزم كمية كبيرة من الطاقة للتغلب على قوى التجاذب النووية وبالتالي لتجزيء هذه النوى إلى بروتونات ونترونات إفرادية . على النقيض من ذلك ، فإن النوى الثقيلة ، كالرصاص والراديوم واليورانيوم والبلوتونيوم ، تحتوي على عدد كبير من البروتونات ، ولذلك نحتاج بالفعل إلى صرف طاقة إضافية إذا أردنا إضافة جسيمات جديدة إلى النواة ، لأن تضافر قوى التنافر الكهربائي بين بروتونات النواة يتغلب على قوة التجاذب النووية . وهذا هو السبب في تحرر الطاقة لدى تفكك النوى الثقيلة .

تُستثمر هذه الخواص في صناعة الطاقة النووية ؛ فشطر النوى الثقيلة من أجل تحرير الطاقة ،

هو المبدأ المعتمد في المحطات النووية لتوليد القدرة الكهربائية وفي القنبلة الذرية. وفي حين أن الاندماج المتحكم به للنوى الخفيفة من أجل تحرير طاقة أعلى ما زال في مرحلة البحث والتطوير، فإن الاندماج النووي الحر (غير المتحكم به) يلعب دوره في القنبلة الهيدروجينية، كما أنه يمثل مصدر الطاقة في الشمس والنجوم. ففي باطن الشمس، تندمج نوى الهيدروجين معاً لتعطي ثاني أخف عنصر كيميائي: الهليوم. تحتوي نواة الهليوم على بروتونين ونترونين، ولذلك، وفي أثناء عملية الاحتراق النووي يجب إيجاد نترونين لكل نواة هليوم جديدة. وكما بيّنا في الفصل الثامن، يتفكك النترون الحر إلى بروتون وأشياء أخرى بعد حوالي خمس عشرة دقيقة؛ أما ما يحصل في باطن الشمس، فهو العملية المعاكسة لذلك: تتحول البروتونات إلى نترونات للمساعدة في تركيب الهليوم. إن التفاعل النووي الذي يؤدي إلى ذلك معقد للغاية، إلا أن مجمله يتجلى في تحول شحنة البروتون الكهربائية إلى بوزترون (وهو المادة المضادة للالكترون) يتحد سريعاً مع الكترون قريب منه ليختفيا معطيين أشعة غاما. أما الناتج الآخر للعملية فهو ما يُدعى بالنترينو، الذي يغادر مسرح الأحداث فوراً وينطلق إلى الفضاء. وينضم النترون إلى نترون آخر وبروتونين لتشكيل نواة الهليوم، وتنطلق أشعة غاما إضافية جديدة عن هذه العملية. وتتحول تلك الأشعة بسبب تصادمها مع المادة المتأينة، إلى طاقة حرارية تساعد النجم في مقاومة الانكماش الناجم عن الجاذبية الثقالية.

يتوقف الاحتراق النووي في كل النجوم في نهاية الأمر بسبب نفاد الوقود اللازم له، ويعود النجم للانكماش ثانية. ولكي نعرف ماذا يحصل بعدئذ، يمكننا اللجوء إلى نظرية النسبية العامة لآينشتاين، حيث يبيِّن التحليل الرياضي أنه طالما ظل النجم محتوياً على مادة تقل عن ثلاثة أضعاف كتلة الشمس، يمكن لمصادر أخرى للضغط أن تنشأ وتساعد على وقف الارتصاص. في بعض النجوم المعروفة بالنباضات (Pulsars)، تنضغط المادة تدريجياً إلى أن تنهار ذراتها وتستحيل إلى نترونات جاعلة من النجم كرة من المادة النترونية الصرفة ذات الكثافة الهائلة بحيث لا يتجاوز قطره بضعة كيلومترات.

أما النجوم ذات الكتل الأكبر من ثلاثة أضعاف كتلة الشمس، فإن مصيرها أكثر غرابة. فحسب نظرية النسبية العامة، لا يمكن دَرْءُ الانكماش، ولذلك نجدها تتضاءل وتنسحق في حوالي الجزء الواحد من المليون من الثانية. عندئذ تتنامى الثقالة بجوارها على نحو مفزع يشوه الزمكان بعنف إلى درجة يتوقف معها الزمن نهائياً. لا ضوء ولا مادة ولا أي شكل للمعلومات يمكن أن يفر من مأزق التجمد هذا، ولذا تبدو هذه المنطقة من الزمكان سوداء تماماً: ثقب أسود. والنجم نفسه، بسقوطه

المأساوي في هاوية الثقب، يختفي عملياً من الكون؛ وقد يصادف النجم مُتفرداً ضمن الثقب، وعندئذ سيغادر الزمكان برمته. لذلك، وفي جميع الأحوال بالنسبة للعالم الخارجي، ستكون كل المادة التي كانت تؤلف مادة النجم قد اختفت إلى الأبد، فلا شيء يعود من الثقب الأسود.

يُعتقد أن الثقوب السوداء سوف تلعب دوراً هاماً في مراحل كوننا الأخيرة، حيث يُحتمل أن يجد كل نجم نفسه يوماً في واحد منها. كذلك يمكن أن تكون قد لعبت دوراً هاماً في المراحل المبكرة أيضاً. إن الكثافة الحرجة للمادة اللازمة لتشكيل ثقب أسود تعتمد على كتلتها الكلية؛ فمن أجل المجرة، تكفي كثافة الماء، أما من أجل الشمس فتلزم كثافة تساوي ألف مليار كيلوغرام في السنتمتر المكعب الواحد. ولتشكيل ثقب أسود من كتلة تقل عن كتلة الشمس تلزم كثافة أعلى من ذلك بكثير. إن المرة الوحيدة التي حصلت فيها مثل هذه الكثافة كانت في أثناء الانفجار الأعظم، عندما انفجر الكون من تكثف بلا تناه. لقد قام بعض العلماء بتقصي إمكانية تشكل الثقوب السوداء في مرحلة الكون الأولى، إلا أن نتائجهم لم تكن مُقْنعة بسبب اعتمادها الكبير على طبيعة المادة الكونية في ظروف التكثف الهائل الذي ساد حينئذ، والبعيدة كلياً عن فهمنا الحالي. لكن من الواضح عموماً، أنه إذا كانت المادة متكثفة جداً، فإن تشكل الثقوب السوداء يصبح أعلى احتمالاً مما لو كانت المادة موزعة بشكل متجانس. لذلك يبدو من المأمون أن نفترض أنه إذا كان الكون قد ابتدأ بعدم تجانس شديد، فإنه سوف يخرج من الانفجار الأعظم مليئاً، ليس بالنجوم، وإنما بالثقوب السوداء.

هل يمكن للحياة أن تنشأ في عالم ثقب أسود؟ إن الحياة الأرضية تعتمد كلياً على حرارة الشمس ونورها، بينما الثقوب السوداء، بطبيعة تكوينها، لا تشع أي نوع من الطاقة (قد لا يكون هذا صحيحاً بالنسبة للثقوب السوداء الصغرية، كما سوف نبين فيما بعد). بالإضافة إلى ذلك، لن تكون هناك كواكب كتلك التي تدور حول النجوم، لأن الكوكب إذا اقترب من الثقب الأسود سيهوي فيه ليغرق في غياهب النسيان.

كم هو عدد الثقوب السوداء المتشكلة في الأطوار الأولى للكون؟ حتى الآن، لم يتعرف أحد بشكل قاطع على ثقب أسود، إلا أن هناك أدلة قوية تشير إلى وجود بعض منها. إن المشكلة هنا هي أن الثقوب سوداء، لذلك فهي صعبة الكشف، والتقنية الوحيدة التي يمكن الاعتماد عليها في ذلك هي البحث عن اضطرابات الثقالة التي تتعرض لها الأجرام الفلكية القريبة من الثقب. فضمن

المجرة ، يمكن لوجود الثقوب السوداء أن يتجلى في أثرها على حركة النجوم ، في حين أن الثقوب الهائلة الكتلة فيما بين المجرات يمكن أن تؤثر على تصرف المجرة برمتها . كما يمكن تقدير كتلة الثقوب السوداء جميعاً في الكون عن طريق قياس شدة الثقالة الكلية فيه . وهذا ما يمكن تحصيله بملاحظة معدل تباطؤ الحركة التوسعية للكون بسبب الأجرام ذات الثقالة . إن القياسات تشير إلى أن المادة المضيئة (النجوم والغازات وغيرها) يجب أن تمثل جزءاً محسوساً من كتلة الكون الكلية ، الأمر الذي يدل على أننا لا نعيش في كون تسود فيه الثقوب السوداء .

على الرغم من انعدام الفهم التفصيلي للثقوب السوداء في بداية الكون ، فإن من الممكن الحصول على تقدير أولي لاحتمال انبثاق الكون من الانفجار الأعظم دون أن يكون مكتظاً بها . إن قدرتنا على إجراء هذه الحسابات تقوم على النتائج الهامة الجديدة لتطبيق نظرية الكم على الثقوب السوداء من قبل هوكنغ (Hawking) في جامعة كيمبردج . ففي عام ١٩٧٤ ، بيّن هوكنغ أن الثقوب السوداء ليست سوداء تماماً ، وإنما يمكنها إصدار إشعاعات حرارية تعتمد درجتها على كتلة الثقب . إن هذه النتيجة غير العادية تُري أنه يمكن للثقب الأسود أن يُعامل معاملة المحرك الانفجاري ، وبشكل خاص ، يمكن معاينة خصائصه من خلال تطبيق قانون الترموديناميك العام الثاني .

في أواخر القرن التاسع عشر ، كان أحد أعظم انتصارات الفيزياء النظرية هو اكتشاف الارتباط بين التصرفات الترموديناميمة (الحرارية الحركية) لجملة ما بالتوزع الإحصائي لذرات مكوناتها . كمثال بسيط تصور صندوقاً يحوي غازاً تتجول جميع جزيئاته بشكل عشوائي اعتباطي متصادمة معاً ومع جدران الصندوق . إن ضغط الغاز في الصندوق ليس إلا حصيلة تصادم الجزيئات ، في حين أن حرارته ليست إلا تعبيراً عن سرعتها ، لأن الطاقة الحرارية هي ببساطة طاقة حركة الجزيئات . إن من الممكن ، في المخبر ، قياس المقادير الفيزيائية ذات المغزى في الترموديناميك ، كالحرارة والضغط وغيرهما ، إلا أن من الصعب جداً معرفة التفاصيل المتعلقة بجزيء ما ، لأن الجزيئات صغيرة وعديدة إلى درجة يصعب معها تحسسها . فالخصائص الإحصائية الوسطى وحدها ، لمليارات المليارات من الجزيئات ، هي التي يمكن ملاحظتها ، ولذلك نحن لا نرى التغيرات الدائمة التي تطرأ على توضّع الجزيئات ضمن الصندوق نتيجة لتصادماتها وحركتها المستمرة . إن كل حالة معينة من حالات الغاز ، والتي يتم التعبير عنها بدرجة الحرارة والضغط وغيرهما ، يمكن أن تنتج عن عدد كبير جداً من

إمكانيات توضع الجزيئات وتفاعلها معاً. وبالتالي، فإن تغير مواضع بعض الجزيئات لا يؤدي إلى تغير محسوس في ضغطه أو درجة حرارته.

لكن ليس كل ما نتصوره من أوضاع وحركات إفرادية لجزيئات الغاز في الصندوق يؤدي إلى الحالة المحسوسة نفسها. فلو تخيلنا مثلاً، أن جزيئات الغاز جميعاً تتحرك معاً نحو اليسار، فإنها ستتجمع في الطرف الأيسر من الصندوق. فإذا كانت الجزيئات كلها تتحرك بشكل عشوائي، فلماذا لا تحصل هذه الحالة اتفاقاً وبالمصادفة؟ إن جواب ذلك يكمن في أساسيات علم الاحتمال والإحصاء. ذلك أن احتمال حدوث مثل هذا التضافر بين المليارات من الجزيئات ضئيل للغاية، وإنْ كان غير معدوم تماماً. إن الحالة الأكثر احتمالاً هي تلك التي تكون فيها الجزيئات جميعاً منتشرة على نحو متجانس في الصندوق، وبالضبط كما هو الحال مع طاقم أوراق اللعب، حيث أن حالة عدم الانتظام بعد الخلط هي الأعلى احتمالاً من حالة انتهاء الأوراق إلى وضع مرتب. فضمن صندوق الغاز، تقوم التصادمات الجزيئية بدور آلية المزج العشوائية، ولذلك فإن حظها في دفع العدد الهائل من الجزيئات إلى أنماط من التصرف المنتظم ضئيل إلى درجة العدم. إن ما نبغي أن نخلص إليه من هذا هو القول بأنه يمكن للفوضى العشوائية أن تحصل بسهولة تفوق بكثير حصول الحالة المرتبة، ولذا فهي الأوفر حظاً في الحدوث. لقد استخدمنا هذا التعليل نفسه في الفصل السابق للاستدلال على أن التوسع النسيق للكون في لحظاته الأولى ضئيل الاحتمال بما لا يمكن تصوره بالمقارنة مع حالات الاضطراب العشوائية الأخرى. لكن، لماذا كان الأمر هكذا؟.

يعود السبب في أن الفوضى أوفر حظاً من الترتيب إلى الخصائص الإحصائية للترتيبات الجزيئية المختلفة. لقد ذكرنا أن التغيرات الضئيلة التي تطرأ على ترتيبات جزيئات الغاز الإفرادية لا تؤثر في خواص الغاز الإجمالية؛ ومع ذلك، فإن بعض الحالات تتأثر أكثر من غيرها بتغيير ترتيب الجزيئات. ففي حالة سير الجزيئات جميعاً في اتجاه واحد مثلاً، لا نملك في إدخال التغيير على الترتيب الحرية نفسها التي نملكها انطلاقاً من حالة أقل ترتيباً (مع الحفاظ طبعاً على الخصائص الإجمالية)، لأن أي اضطراب، ولو كان صغيراً، يمكن أن يؤدي إلى كسر هذا التضافر الدقيق. إن التحليل الرياضي يُبيِّن أن هناك فرقاً كبيراً بين أثر إدخال الاضطراب انطلاقاً من حالة مرتبة وبين أثره انطلاقاً من حالة غير مرتبة. فبعض الحالات، وهي الفوضوية جداً، يمكن تشويشها دون إحداث تغيير في خصائصها بأساليب يفوق عددها عدد الأساليب التي تتناول حالة أكثر ترتيباً. لذلك، وبما أن الترتيبات الجزيئية تختلط باستمرار وبشكل عشوائي، فإن الحالة المرتبة لا تلبث، إنْ

حصلت، أن تتحول إلى حالة فوضوية؛ وبمجرد أن يحصل هذا التحول تصبح الحالة الفوضوية عظيمة الاستقرار، لأن أي خلط لاحق سيُحدث على الأرجح حالة أكثر فوضوية من الحالة المرتبة. إن المبدأ هو البساطة عينها: هناك من طرق توليد الفوضى ما يفوق بكثير طرق صنع الترتيب، ولذلك فإن الحالة العشوائية هي، بأرجحية عظمى، حالة شديدة الفوضوية.

مُسلَّحين بمعرفة هذه العلاقة بين درجة الفوضى في جملة ما واحتمال نشوئها عن عملية عشوائية، يمكننا الآن أن نحاول تحديد موقع الثقوب السوداء في الإطار الترموديناميي، ومن ثم تقييم احتمال ظهورها كنتيجة لفعل عشوائي صرف حدث في لحظات الكون المبكرة. قد يبدو مفهوم درجة الفوضى من حيث علاقته بالثقوب السوداء غامضاً بعض الشيء للوهلة الأولى؛ فخلافاً للغاز المعروف باحتوائه على مليارات الجزيئات الدقيقة، لا يتألف الثقب الأسود من شيء على الإطلاق، فهو ليس سوى شبح لمادة متلاشية: منطقة شديدة التشوه من الفضاء الخالي. لكن المعاينة الأدق تكشف عن تشابه عميق بين الغاز والثقوب السوداء. فنحن، في الحالتين، لا نملك معلومات عن البنية الداخلية: إن جزيئات الغاز أصغر من أن نلحظها، في حين أن الثقب الأسود لا يسمح لأي معلومات بالخروج منه. إن كل ما يمكن قياسه في كلتا الجملتين هي السمات العامة، كالكتلة الكلية والشحنة الكهربائية والحجم وسرعة الدوران... إلخ. وكل مجموعة معينة من هذه الخواص الإجمالية يمكن أن تأتي بطرق متنوعة عديدة جداً. وكما يمكن لجزيئات الغاز أن تختلط بأنماط مختلفة، يمكن للنوع الواحد من الثقوب السوداء أن ينشأ عن عدد كبير من النجوم المنكمشة ذات البنى الداخلية المختلفة.

يتجلى التشابه الأكثر إثارة للدهشة بين الغازات والثقوب السوداء، في خضوع الأخيرة لقانون جديد يبدو مماثلاً لقانون الترموديناميك الثاني الذي ينص على أن الفوضى الكلية في الكون تزداد مع الزمن. فالثقوب السوداء تخضع لقانون يقول إنها تزداد كِبَراً مع الزمن مما يوحي بإمكانية قياس حجم الثقب الأسود بدرجة الفوضى فيه؛ ولقد تأكد هذا عندما درس هوكنغ العلاقة بين درجة حرارة الثقب وكتلته، حيث تبيَّن أن الثقب الأسود يخضع للعلاقة نفسها بين الحرارة والفوضى كما في الغازات، وذلك إذا تم استخدام مساحة سطح الثقب كمقياس للفوضى. من ناحية أخرى، ترتبط مساحة الثقب بكتلته، وبذلك يصبح بين أيدينا وسيلة للمقارنة بين درجة الفوضى لكتلة مادية ما مع الفوضى التي يمكن أن تحصل لدى سقوط تلك الكتلة في ثقب أسود. فالفوضى في ثقب أسود له كتلة الشمس مثلاً أعظم ببضعة مليارات مليار مرة من فوضى شمسنا الفعلية، وهذه

نتيجة ذات مغزى كبير مفاده أن هناك احتمالاً كبيراً جداً، لو توافقت كل الشروط الأخرى، لكي تكون الكتلة الموجودة في الشمس ضمن ثقب أسود عوضاً عن نجم مضيء. إن عبارة لو توافقت كل الشروط الأخرى حاسمة في هذا الصدد، لكن الشروط الأخرى لم تكن كذلك في كوننا، وإلا لما كان هناك شمس ولا أي نجم آخر. فلو كانت المادة البدئية منتثرة بشكل عشوائي، لكان احتمال تشكل الثقوب السوداء أكبر بكثير من احتمال تشكل النجوم، لأن الثقوب، وهي أكثر فوضوية، يمكن أن تتشكل بعدد هائل من الطرق المختلفة؛ وعندئذ سيكون هناك مقابل كل نجم العدد الذي لا يحصى من الثقوب السوداء التي تتشكل بسهولة أكبر.

تتجلى قوة ومشروعية هذه المناقشة بوضوح عندما نتفحص العلاقة الرياضية بين الاحتمال والفوضى. إنها في الواقع علاقة أُسيَّة تشابه إلى حد كبير ما يحكم التكاثر المثالي للبشر، حيث يتضاعف العدد كل فترة زمنية محددة، مهما كان هذا العدد. وبالتالي، وفي كل مرة تزداد فيها درجة الفوضى بمقدار محدد، يتضاعف احتمال حصول تلك الحالة من الفوضى؛ فالعلاقة إذن هي علاقة تنام متصاعد ومؤداها المفيد هو أنه عندما تصبح الأرقام كبيرة فإن قدراً ضئيلاً من الفوضى الإضافية يتمتع باحتمال عالٍ جداً. ففي حالة الشمس التي لا تعدو فوضاها مجرد جزء واحد من مئة مليار مليار من فوضى الثقب الأسود المكافئ لها، يكون الحظ ضد الشمس ولصالح الثقب الأسود في الانبثاق عن فعالية عشوائية بحتة، ومقدار الاحتمال في ذلك هو واحد من رقم مؤلف من واحد على يمينه مئة مليار مليار صفر، وهذا احتمال معدوم بكل المعايير.

لو طبقنا المناقشة ذاتها على كامل الكون، لوجدنا ما يحير العقل في الحظ ضد كون مليء بالنجوم: إذ أن احتمال مثل هذا الكون هو واحد من رقم مؤلف من واحد على يمينه ألف مليار مليار مليار صفر على الأقل. وحتى لو كانت حجج احتمالية الفوضى هذه تقريبية للغاية، يبقى الاستنتاج هو أننا نعيش في كون تقف كل المصادفات ضده. ومرة أخرى يمكن اللجوء إلى المبدأ البشري كي نرى أن من بين العدد الذي لا حصر له من الأكوان الممكنة المكتظة بالثقوب السوداء، كان هناك عدد ضئيل جداً منها، نجت فيها المادة من التلاشي في غياهب الثقوب السوداء ورتبت نفسها في نجوم تملك كل المقومات اللازمة للحياة.

إن ما توحي به هذه الأفكار هو صورة عجيبة للفضاء العظيم: أكوان وأكوان في حركة عشوائية دائبة، جميعها مكتظة بالثقوب السوداء العملاقة تجوب أنحاءها متصادمة متراطمة في

هيجان زمكاني مريع، وكلها تسبح في جحيم مستعر من السخونة الهائلة التي نتجت عن الاضطرابات الكمومية ومن ثم تنامت بالتبديد الذي ساد اللحظات الأولى. فمن يستطيع أن يتصور أن من بين كل هذه الأكوان المرعبة يمكن لبضعة عوالم أن تنجو بمعجزة من ذلك الأتون اللاهب لتكون فردوس الحياة؟ إننا نحن الذين نستطيع ذلك، لأننا نحن تلك الحياة!.

كما نوهنا في بداية هذا الفصل، يبدو أن على الكون أن يكون قد بدأ ببعض عدم التجانس من أجل تشكل النجوم والمجرات في المقام الأول. لقد كان الفلكيون يأملون لبعض الوقت بتعليل وجود المجرات بافتراض أن المادة التي انبثقت عن الانفجار الأعظم كانت في البداية ناعمة وموزعة بانتظام، لكن اضطرابات عشوائية حصلت فأدت إلى ظهور تجمعات متناثرة من المادة التي لعبت عندئذ دور نواة استقرت حولها مواد أخرى بفعل الثقالة المتنامية حولها. وهكذا، تجزأت المادة الغازية الأولية تدريجياً إلى أشباه مجرات تحولت بدورها إلى نجوم. يبدو، لسوء الحظ، أن زمناً قصيراً للغاية كان متاحاً إبّان ولادة الكون لهذا كي يحصل. ذلك أنه على الرغم من أن هناك ميلاً طبيعياً لغيوم الغازات لتنكمش متقوقعة تحت تأثير الثقالة، فإن عليها مقاومة توسع الكون الذي يؤدي إلى العملية المعاكسة، أي إلى بعثرتها. لذلك، فإن الإمكانية الوحيدة لتشكيل النجوم والمجرات هي وجود بعض المناطق الكثيفة منذ البداية، التي أصبحت فيما بعد المجرات التي نراها اليوم. فلو كانت المادة البدئية ناعمة أكثر من اللازم، لكانت الحياة مستحيلة، كما تكون مستحيلة لو كانت المادة متكتلة أكثر من اللازم.

لقد اقتصر استخدامنا للمبدأ البشري حتى الآن على الأسئلة المتعلقة بتوزع المادة والطاقة في الكون، إلا أننا نستطيع أن نذهب إلى أبعد من هذا وننظر في الظروف التي تتيح للخصائص الفيزيائية الجوهرية للمادة أن تتغير من عالم إلى آخر. كما رأينا في الفصل الثامن، لا يمكننا معرفة أي من قوانين الطبيعة لدينا هي مجرد حالات خاصة من قوانين أعم وأشمل، ولذلك فإن الكثير من الخصائص الفيزيائية التي نؤمن بها يمكن أن تكون مختلفة كل الاختلاف في المناطق الأخرى من الفضاء العظيم. فنظرية الثقالة (أي النسبية العامة) التي بين أيدينا الآن مثلاً، تنطوي على قيد أساسي في بنيتها هو أن قوة الثقالة بين كتلتين محددتين ومفصولتين بمسافة معينة، لا تختلف باختلاف الموقع المكاني لهما، ولا بمرور الزمن. فالأرض تجذب التفاحة بالقوة نفسها سواء كانت في مجرة درب التبانة أو في مجرة المرأة المسلسلة، وهي تفعل اليوم كما كانت تفعل قبل مليار سنة. وقد جرى التحقق من ثبات الثقالة تجريبياً بشكل جيد، إلا أنه ما زال هناك مجال للشك في الأمر، وقد

أتى بعض الفيزيائيين فعلاً بنظريات منافسة لنظرية آينشتاين تقول بإمكانية تغير شدة الثقالة من موضع لآخر ومن زمان إلى زمان. فإذا لم تكن هذه القوة ثابتة بشكل مطلق، فإن من الممكن الافتراض بأنها يمكن أن تتغير من عالم إلى آخر في الفضاء العظيم، وعندئذ علينا مواجهة التحدي المتجلي في الإجابة عن السؤال التالي: لماذا كانت قوة الثقالة بذلك المقدار الذي هي عليه في هذا الكون؟ وبشكل خاص، لماذا كانت أضعف بكثير من قوى الطبيعة الأخرى جميعها؟.

يعلم القارئ الملم بمبادئ الفيزياء الأساسية أن القوانين الرياضية التي تصف الجمل الفيزيائية تحتوي أحياناً على أعداد مثل ٤ π أو ١٢. تعود هذه الأرقام غالباً إلى أصل هندسي أو تتصل بعدد أبعاد الفضاء الذي يحوي الجملة. في أواخر العشرينيات من هذا القرن، وبعد ظهور نظرية النسبية العامة حاول العديد من الفيزيائيين بناء نظرية موحدة تجمع ثقالة آينشتاين مع كهرطيسية مكسويل القديمة. لقد كان هناك أمل، وما زال، في أن تكون كل من الثقالة والكهرطيسية وجهين ظاهريين لقوة فيزيائية أساسية واحدة، إلا أن النجاح لم يحالف أحداً بعد في الإتيان بمثل هذه النظرية على الرغم من استمرار البحث. إن أحد أهم الصعوبات التي تواجه أصحاب نظرية الحقل الموحد (Unified Field Theory) هو الفرق الهائل بين شدتي القوتين المذكورتين؛ فقوة الثقالة الفاعلة بين مكونات نواة الذرة أضعف من القوة الكهربائية بعدد من المرات معطى برقم مؤلف من واحد على يمينه أربعون صفراً (١٠^٤٠). فما هي النظرية التي تستطيع أن تلد مثل هذا الرقم الهائل؟.

لقد كان الفلكي إدينغتون والفيزيائي بول ديراك أول من أشار إلى أحجية من هذا القبيل. فنحن عندما نقيس المسافات الزمنية، نقارنها عادة بأدوار بعض الاهتزازات الطبيعية، كدوران الأرض أو اهتزازات بلورات الكوارتز أو طول موجة ضوء ما. فإذا سألنا ما هي أصغر وحدة زمنية طبيعية ذات مغزى فيزيائي جوهري لبنية المادة، يقود السؤال إلى فحص اهتزاز الذرات ونواها. فالجسيمات الذرية داخل النواة تهتز بأدوار زمنية صغيرة جداً من الصعب تصورها بمعاييرنا العادية، إذ أن الدور يساوي حوالي الجزء الواحد من مليون مليار مليار من الثانية، أي ما يعادل الزمن اللازم للضوء ليقطع مسافة قدرها قطر النواة. تمثل هذه المدة الزمنية البالغة الضآلة وحدة طبيعية أساسية يمكن أن تنسب إليها جميع المسافات الزمنية الأخرى، إلا أنها، على ضآلتها، تساوي رقماً مؤلفاً من واحد على يمينه عشرون صفراً (١٠^٢٠) من وحدة الزمن الطبيعية في الثقالة الكمومية، وهي ما دعوناها سابقاً باللمحة. فإذا سألنا الآن عن أطول فترة زمنية طبيعية ممكنة في هذا الكون، فإننا سوف نصادف عمر الكون الذي تم حسابه بطرق شتى وَوُجد أنه يساوي حوالي خمسة عشر مليار

سنة . إن هذا الزمن يساوي ١٠^٤٠ مرة من الوحدات الزمنية الذرية ، وهذه النسبة هي نفسها التي تمثل مقدار ضَعْف الثقالة بالمقارنة مع الكهرطيسية .

الأحجية هنا هي : لماذا تصادف وجودنا أحياء بالضبط في الحقبة التي يكون فيها عمر الكون ذلك الرقم السحري ١٠^٤٠ ؟ يرى ديراك أن عِظَم هذا العدد ، بالنسبة لما نصادفه عادة في الفيزياء النظرية مثل ٤ π أو ١٢ ، يدعو إلى الاعتقاد بأن تساوي النسبتين ليس أكثر من تطابق عرضي ؛ ويضيف أن هذين العددين مرتبطان معاً في نظرية فيزيائية تتطلب تساويهما في جميع الأحقاب ، وهذه خاصة يمكن تحقيقها بجعل الثقالة تضعف تدريجياً مع الزمن . أي أن الثقالة كانت في الماضي السحيق ، عندما كان عمر الكون صغيراً ، أقوى منها الآن .

إن الأدلة الرصدية التي توحي بتغير الثقالة نحو الأضعف قليلة جداً مع الأسف ، ولذلك علينا الرجوع إلى المبدأ البشري لتفسير تطابق النسبتين المذكورتين . فيما يلي سوف نعتمد في مناقشتنا على اقتراح قدمه في الأصل فيزيائي النجوم الأمريكي روبرت دايك **(Robert Dicke)** والفيزيائي البريطاني براندون كارتر **(Brandon Carter)** . لقد نوهنا مسبقاً إلى الاعتقاد السائد بأن وجود العناصر الكيميائية الثقيلة ، كالكربون ، أساسي للحياة كما نعرفها . لكن الكربون لم يكن موجوداً في بداية الكون ، وإنما تشكل في نجوم ماتت قبل تشكل الشمس بوقت طويل ، و وصل الكربون إلى الأرض لأن بعض تلك النجوم قد انفجرت وتبعثرت شظاياها في الفضاء الواسع . لذلك يبدو أن الحياة لا يمكن أن تتشكل إلا بعد أن يقضي جيل واحد من النجوم على الأقل دورة حياته الكاملة . من ناحية أخرى ، ولما كان من المستبعد تشكل الحياة بجوار نجم احترق وتحول ربما إلى ثقب أسود أو إلى جسم بارد منقبض ، وكان عدد أجيال النجوم المحتمل وجودها على مدى الزمن اللازم لاحتراق كامل مادة الكون قليلاً ، ينتج أن الحياة تظهر فقط في الفترة من عمر الكون الواقعة ما بين دورة واحدة وبضع دورات من حياة النجوم .

يمكن تقدير عمر النجوم باستخدام النظرية المعروفة باسم نظرية البنية النجمية **(The theory of stellar structure)** . يعتمد عمر النجم على كل من الثقالة التي ترص مادته وعلى شدة القوى الكهرطيسية التي تحكم الكيفية التي تنتقل بها الطاقة عبر جوف النجم حتى تخرج وتنتشر في الفضاء البعيد . إن تفاصيل الموضوع معقدة جداً ، لكن الحسابات تبين أن عمر النجم العادي مقدراً بالوحدات الزمنية الذرية يساوي تقريباً نسبة القوتين المذكورتين ، أي ١٠^٤٠ ، يزيد

أو ينقص بحوالي عشر مرات. والنتيجة التي يمكن استخلاصها من هذا هي أنه مهما كانت قيمة هذه النسبة في الماضي، فإن المخلوقات الذكية لا يمكن أن تكون موجودة تتفكر بها إلا عندما يكون الكون قد وُجد لفترة زمنية مساوية لذلك العدد من الوحدات الزمنية الذرية.

يمكننا المضي إلى أبعد من هذا، لنرى لماذا كان ذلك العدد بهذا الكِبَر، أي لماذا كانت الثقالة بهذا الضعف بالمقارنة مع القوة الكهرطيسية. إن وجودنا على الأرض يعتمد على بقاء الشمس مستقرة لعدة مليارات من السنين التي تلزم للتطور البيولوجي لينتج المخلوقات الذكية. لذا يجب أن يكون عمر النجم العادي، كالشمس، مساوياً لهذا الزمن على الأقل، وهذا ما يمنع الثقالة من أن تكون أشد مما هي عليه؛ ولو لم يكن الأمر كذلك، لأنجزت الشمس احتراقها قبل ظهور الإنسان بوقت طويل.

تتوقف الثقالة، أيضاً وجوهرياً، على خاصة أساسية أخرى من خصائص هذا الكون، وهي حجمه. فالجميع يعلم أن الكون كبير، فالمسافات بين النجوم هائلة، إذ إن أقرب نجم إلى الشمس يبعد عنها حوالي خمسين ألف مليار كيلومتر (أكثر من أربع سنوات ضوئية)، ومجرة درب التبانة تمتد على حوالي مئة ألف سنة ضوئية، وهناك مجرات تبعد عنا بضعة مليارات من السنين الضوئية يمكن لتلسكوباتنا أن تكشفها. من ناحية أخرى، فإن عدد النجوم الموجودة في الكون يذهل العقل؛ فمجرتنا، وهي نموذج لكل المجرات الأخرى، تحتوي على حوالي مئة مليار نجم، ومعروف لدى العلماء اليوم أن هناك مليارات عدة من المجرات في الكون.

ومع ذلك، فإن هناك ما يحدو للاعتقاد بأن الكون محدود في حجمه، إذ يمكن القول بأن لهذا الكون حافة تبعد عنا حوالي خمسة عشر مليار سنة ضوئية. إن هذه ليست حافة فيزيائية حقيقية، بل هي الأفق الكوني الذي أتينا على ذكره في الصفحة ١٧٠، والذي لا يسمح تحدب الكون أن نرى ما وراءه. فبهذا المعنى، يكون للكون حجم طبيعي، ولو سألنا عن هذا الحجم مقدراً بأصغر وحدة حجم طبيعية متوفرة، وهي حجم نواة الذرة، لوجدنا مرة أخرى أنه يساوي ١٠^٤٠. لكن ليس في ذلك من عجب، ذلك لأننا نُعبر الآن عن عمر الكون بواحدات المسافة المكافئة للوحدات الزمنية: السنين الضوئية. من الواضح أن الكون واسع جداً لأنه قديم جداً، وهو قديم جداً بسبب الزمن الذي استغرقته الحياة للظهور فيه.

لنلتفت الآن إلى محتوى الكون من المادة. تبين الحسابات أن كمية المادة في الكونه مُقدرة

بأصغر وحدة مادية طبيعية، وهي الذرة، تساوي حوالي ١٠^٨٠ ذرة، وهذا رقم مؤلف من واحد على يمينه ثمانون صفراً، وهو يساوي مربع الرقم الكبير الآخر الذي صادفناه مراراً، أي مربع الـ ١٠^٤٠. وهذا تصادف آخر للأرقام يمكن للمبدأ البشري أن يفسره. فقد تصادف أن محتوى الكون من المادة مرتبط بعمره. وسبب ذلك هو أن الكون في حالة توسع، وكثافة المادة فيه تتحكم بحركة هذا التوسع. فلو كانت كمية المادة أكبر بكثير، لأوقفت ثقالتها التمدد ولدفعت بالتالي الكون إلى الانكماش والانهيار حتى قبل ظهور الحياة الذكية فيه. أما لو كانت الكثافة ضعيفة، لكان التمدد أسرع، ولما كان ممكناً للمجرات ولا للنجوم أن تظهر بالوفرة التي هي عليها الآن. فقد ذكرنا أن المجرات والنجوم تتشكل من تجمعات الغازات والغبار التي ترتص بفعل ثقالتها الذاتية بما يتيح لها التغلب على عملية التوسع. ولو كانت كثافة مادة الكون أقل بكثير لضعفت الثقالة تلك ولعجزت عن لجم المادة الآخذة بالتباعد، ولازداد فوق ذلك معدل التوسع ذاته، مما يجعل التنافس بين المفعولين أقل ملاءمة لتشكل المناطق الكثيفة. وهكذا يظهر أننا لم نكن لنوجد في عالم ذي كثافة تختلف كثيراً عن كثافة العالم الذي نسكنه.

إذا كان للحياة أن تظهر، فإن على كثافة الكون أن تكون كبيرة بما يكفي لأسر المادة في تجمعات محلية كالنجوم والمجرات، لكن ليس كبيراً جداً بحيث تمنع تداعي الكون وانهياره. باستخدام نظرية النسبية العامة لآينشتاين، يمكن أن نحسب الكثافة المثلى التي تقع على حافة التوازن ما بين وفرة المادة وندرتها في الكون، ومن ثم نستخدم هذه الكثافة مع حجم الكون لحساب عدد الذرات الكلي فيه. ليست عملية الحساب معقدة، إذ يمكن التعبير عن الجواب بحاصل قسمة عمر الكون على ثقالة الذرة الواحدة. إن النتيجة قريبة جداً من حاصل ضرب النسبتين المذكورتين فيما سبق: أي أن حاصل جداء عمر الكون بحاصل قسمة قوة التجاذب الكهربائي على قوة الثقالة في الذرة المفردة = ١٠^٤٠ × ١٠^٤٠ = ١٠^٨٠، وهذا بالضبط هو عدد ذرات الكون. وهذا تطابق مدهش آخر يجب أن لا نستغربه، على اعتبار أننا أحياء نشاهده.

لقد تم أيضاً اقتراح حجج مماثلة تعتمد على القوة النووية بدلاً من الثقالة. فقد رأينا في الفصل الثامن أن استقرار النواة يعتمد على التوازن بين قوة الترابط النووية وقوة التنافر الكهربائية، وأن أي تغير في إحدى القوتين يمكن أن يهدد بنية النوى المركبة التي تقوم عليها الحياة. إذ يكفي مثلاً أن تكون الشحنة الكهربائية التي تحملها البروتونات عشرة أضعاف ما هي عليه كي تتفكك نوى الكربون؛ ويحصل الشيء ذاته لو نقصت القوة النووية بالنسبة نفسها. لقد بيَّن فرِدْ هويل أن وجود

الكربون يمكن أن يعتمد على القوى النووية إلى مدى أبعد مما ذكرنا ، إذ حسب نظرية الانفجار الأعظم ، ما كان لبنية الكون الحالية أن تستطيع معايشة الحرارة العالية التي نجمت عن طور الكون البدئي . فالذرات ، وحتى نواها ، كان من الممكن أن تكون قد سُحقت بسبب الطاقة الحرارية ، مما يحول بالتالي دون تشكل الكربون . قبل انقضاء الدقائق الأولى من عمر الكون ، لم تسمح درجة الحرارة التي بلغت مليارات الدرجات إلا للجسيمات الأولية ، كالبروتونات والنترونات بالوجود ، إذ لا يمكن لأي نواة مركبة أن تتحمل ذلك الجحيم المستعر . وبتناقص درجة الحرارة وابتراد الكون ، بدأت النوى المركبة بالتشكل وذلك باندماج البروتونات والنترونات لتعطي الهليوم . وتشير الحسابات إلى أن حوالي ربع مادة الكون قد تحول إلى هليوم ، في حين أن تشكل العناصر الأثقل وزناً كان شبه معدوم تقريباً . إن السبب وراء عدم اكتمال التركيب النووي حينئذ هو أنه بعد انقضاء الدقائق الأولى انخفضت درجة الحرارة إلى أدنى بكثير مما يكفي لاستمرار الاندماج النووي . لقد كان أمام الكون دقائق قليلة فقط ، فصلت ما بين الجحيم الذي كان فيه والبرودة التي انتهى إليها ، ليطبخ النوى الأكثر تعقيداً ، ولم تكن تلك الفترة كافية لظهور الكثير من النوى المركبة ، وهذا ما يفسر لماذا كان الكون اليوم مكوناً كله تقريباً من الهيدروجين والهليوم .

أما تشكل الكربون ، وهو مادة الحياة الأساسية ، فقد كان بعد تلك الحقبة بزمن طويل ، عندما ظهرت درجات الحرارة الجحيمية ثانية ، لكن الآن في بطن النجوم . إن الكربون لا يتشكل إلا بعد أن تتحول معظم مادة النجم إلى هليوم . تحتوي نواة الكربون على ستة بروتونات وستة نترونات ، في حين أن نواة الهليوم تحتوي على بروتونين ونترونين ، مما يعني أن تشكل ذرة الكربون يتطلب تصادم ثلاث نوى هليوم في آن واحد . في باطن النجم حيث الحرارة الهائلة ، تحصل التصادمات بوفرة كبيرة وذلك بسبب الهيجان العشوائي لجسيمات المادة ، إلا أن التلاقي الثلاثي بالطبع أندر بكثير من تلاقي نواتين فقط . لذلك ، فإن الاندماج النووي لثلاث نوى هليوم هو عملية بطيئة للغاية ، وقد تكون شبه مستحيلة لولا ظاهرة فيزيائية أخرى ، وهي أن اندماج نوى الهليوم يتم على مرحلتين ، في الأولى تندمج نواتان بشكل مؤقت لتعطيا نواة عنصر البيريليوم ذي العمر القصير جداً والتي تندمج فيما بعد مع نواة هليوم ثالثة لتعطي الكربون . إن الحظ في تشكل نواة الكربون عندئذ يعتمد على مدى النجاح في تلاقي نواة العنصر المذكور مع نواة الهليوم الثالثة المطلوبة . ويتبع نجاح هذا التلاقي بشكل كبير لتغيرات الطاقة ، ويكون النصيب فيه وافراً إذا وصل الجسيم المركب (من نواة الهليوم والبيريليوم) إلى سوية طاقة قريبة من إحدى سويات الطاقة الكمومية الخاصة به . لقد وُجد أن الجسيم الناتج عن

الاندماج النووي للبيريليوم والهليوم يتمتع فعلاً بسوية طاقة طبيعية قريبة جداً من تلك التي يمكن أن تتوفر في باطن نجم مشتعل، وهذا التصادف السعيد يبدو مسؤولاً عن الإنتاج الوفير للكربون الذي يتناثر فيما بعد عبر الفضاء نتيجة لانفجار النجم. إنه لمن المهم جداً طبعاً أن لا يتم القضاء على الكربون المتشكل نتيجة اندماج نواةُ مع نوى الهليوم الأخرى، لكن هذا لا يحصل، لحسن الحظ، إلا فيما ندر بسبب عدم وجود سوية الطاقة اللازمة له. ففي الواقع، تعتمد سويات الطاقة هذه على شدة القوى النووية، بحيث أن تغيراً ضئيلاً فيها، لا يتجاوز بضعة آحاد في المئة، يمكن أن يقضي على وجود الكربون وبالتالي يمكن أن يشكل كارثة فعلية للحياة القائمة عليه. وبالعودة الآن إلى الفضاء العظيم، وإذا كان للقوى النووية أن تأخذ كل القيم مهما كانت في مختلف عوالمه، نجد أن تلك الحفنة الصغيرة فقط من الأكوان المشابهة لكوننا، والتي تأخذ فيها القوى النووية تلك القيم الخاصة جداً دون غيرها، تستطيع أن تسمح للحياة القائمة على الكربون بالظهور فيها.

وثمة مظهر آخر من مظاهر الاعتماد الحرج للحياة على القوى النووية كان قد أشار إليه فريمان ديسون (Freeman Dyson). فمع الهيدروجين العادي يوجد جزء صغير يدعى بالهيدروجين الثقيل أو الدوتيريوم، وهو يشابه الهيدروجين العادي في خصائصه الكيميائية، إلا أن نواته تحتوي نتروناً بالإضافة إلى البروتون، متحدين معاً. وتشير الدراسة النظرية إلى أن البروتون والنترون يخضعان لتأثير قوتين متعاكستين، إحداهما هي قوة الترابط النووية وأخرى تعمل ضدها وتتعلق بالتوزع الاحتمالي لسويات الطاقة ضمن النواة على النحو الذي قدمناه في الصفحة ٧٨؛ ويؤكد التحليل النظري أن قوة الترابط النووي تزيد بمقدار ضئيل جداً عن الأخرى، مما يجعل الحظ يحالفها في الحفاظ على ترابط الجسيمين، لكن على نحو ضعيف، وهذا ما تؤكده التجارب المخبرية. لكنْ، ماذا لو كان هناك بروتونان معاً بدلاً من البروتون والنترون؟ هنا تختلف القصة، إذ أن على البروتونين الآن أن يتحملا قوتي تنافر بدلاً من واحدة، وهما قوة التنافر الكهربائي الناجم عن تماثل شحنتيهما والقوة الناجمة من مبدأ الانتفاء (مبدأ باولي المذكور في الفصل الرابع) الذي يمنع البروتونين من التقارب معاً أكثر مما ينبغي. في هذه الحالة، تتغلب محصلة قوتي التنافر على قوة الترابط النووية، مما يحول دون تشكل جسيم ذي بروتونين. لكن هذا التنافس ليس كبيراً، الأمر الذي يعني أنه لو كانت قوة التجاذب النووي أشد بقليل (بمقدار بضعة آحاد بالمئة فقط)، لفازت هذه القوة ولاستحال الجسيم المؤلف من بروتونين إلى واقع. على أي حال، لا يمكن لجسيم من هذا النوع أن يعيش طويلاً لأن أحد

البروتونين سوف يتحول إلى نترون في عملية إصدار لأشعة بيتا ، وهذا ما يحول الجسم المركب إلى نواة الدوتيريوم .

لقد درس ديسون أثر هاتين الإمكانيتين على الفعاليات النووية التي حدثت في العالم البدئي ، فتبيَّن له أن كل المادة التي نجدها اليوم على شكل هيدروجين كانت ستصبح نوى ذات بروتونين تتحول إلى دوتيريوم بعد الانفجار الأعظم مباشرة . ولو كان الدوتيريوم هو المادة الخام السائدة بدلاً من الهيدروجين لسارت عملية احتراق الوقود النووي بمعدل عالٍ محولة كامل الدوتيريوم إلى هليوم تاركة وراءها كوناً نظيفاً تماماً من الهيدروجين ، وبالتالي بلا شمس ولا نجوم ، وبلا مليارات السنين من الإشعاع والدفء اللازمين لظهور الحياة . حتى الماء المركب من الهيدروجين والأكسجين ، وصاحب الدور الأساسي في العملية الحيوية ، لم يكن له أن يوجد . لذا يبدو أن الحياة تعتمد بشكل حساس جداً على الإخفاق الحرج في إمكانية اتحاد بروتونين معاً وحدهما في نواة الذرة .

وللقوة النووية الأخرى ، المعروفة بالقوة الضعيفة والمسؤولة عن النشاط الإشعاعي المسمى بأشعة بيتا ، دورها أيضاً في المساعدة على تشكل الحياة في الكون ، ويأتي هذا على شكلين . أولهما يتعلق بمكونات المادة السائدة في لحظات الكون المبكرة والتي تشكل منها الهليوم خلال الدقائق الأولى . فكما سبق أن ذكرنا ، تتألف نواة الهليوم من بروتونين ونترونين ، ولذلك تعتمد كمية الهليوم المتشكلة على كمية النترونات التي كانت متوفرة حينئذ . والواقع هو أن جميع النترونات التي كانت موجودة في الطور البدئي شاركت في تشكيل نوى الهليوم ، أي أن الهيدروجين الذي يؤلف معظم مادة الكون اليوم ليس سوى البروتونات التي بقيت دون تزاوج مع النترونات بسبب ندرة الأخيرة . في المراحل المبكرة جداً كان هناك توازن تام بين مقدار الطاقة الذي استخدم لصنع البروتونات وذلك الذي نتجت النترونات عنه ، وقد تمكن التوزان من الاستمرار بسبب القوة الضعيفة المسؤولة عن إشعاع بيتا ؛ فعندما تكون هناك وفرة زائدة في النترونات ، تتحول هذه إلى بروتونات بالإشعاع ، والعكس بالعكس ، مما يحافظ دائماً على نقطة التوازن . إنها آلية فعالة تستمر طويلاً إذا لم يطرأ عليها اضطراب خارجي يؤثر فيها ، إلا أنها لم تكن وحيدة ، فقد كانت إلى جانبها حركة التوسع المروعة التي اتسم بها الكون المتفجر في طوره المبكر . ففي البداية لم يكن التوسع قادراً على الإخلال بالتوازن ، لأن البروتونات والنترونات كانت حارَّة ومتكاثفة بما لا يوصف ، لكن بعد حوالي ثانية واحدة من بدء الانفجار الأعظم ، انخفضت الكثافة والحرارة بشكل كبير (إلى مجرد عشرة مليارات درجة فقط) الأمر الذي لم يساعد التوازن على الاستمرار ، وتجمدت نسبة النترونات إلى البروتونات

على القيمة التي كانت لها في ذلك الوقت . وتدل الحسابات على أن هذه النسبة تساوي ١٥٪ ، وهي ما يكافئ نسبة ٣٠٪ من الهليوم و ٧٠٪ من الهيدروجين ، وهذه هي القيم التي نلاحظها اليوم بالضبط .

إن السبب في أهمية القوة الضعيفة هنا هو أنها تحكم اللحظة التي يبدأ عندها اختلال التوازن . فلو كانت هذه القوة أضعف لما استطاعت الحفاظ على التوازن طويلاً في وجه التمدد السريع ، وهذا أمر هام لأن نسبة النترونات كانت أكبر في اللحظات السابقة للثانية الأولى ، وذلك للأسباب التالية : إن النترون أثقل بـ ١ر٠٪ من البروتون ، ولذلك تحتاج النترونات إلى طاقة أكبر في تشكلها . فإذا كانت الطاقة المتوفرة ضئيلة فإن فرق الكتلة ذاك يعمل لصالح البروتونات ، وهذا ما يفسر لماذا كانت نسبة البروتونات في نهاية الثانية الأولى مساوية ٨٥٪ بينما كانت نسبة النترونات ١٥٪ فقط . لكن في اللحظات الأبكر كانت درجة الحرارة أعلى ، مما وفر طاقة أعلى يتقاسمانها بينهما ، وهذا ما يجعل فرق الكتلة غير ذي أهمية وبالتالي يعطي الفرصة لإنتاج البروتونات والنترونات بنسبة واحدة ، أي بنسبة ٥٠٪ لكل منهما . فلو كانت هذه النسبة هي السائدة في لحظة اختلال التوازن لأدت حتماً إلى تحول المزيج كله إلى هليوم ، لأن كل نترون يحتاج إلى بروتون ، ولخلا عندئذ الكون من البروتونات اللازمة لتشكيل الهيدروجين . لكن ، كما نوهنا سابقاً ، لا ينتج الكون الخالي من الهيدروجين الماء ولا النجوم المشتعلة الطويلة العمر ، مما يعني مستقبلاً بائساً للحياة .

والموقع الآخر الذي تلعب فيه القوة النووية الضعيفة دوراً أساسياً بالنسبة للحياة ، يتعلق بمصير النجوم ذات الكتل الكبيرة . فبعض النجوم ، وبسبب استهلاكها لوقودها النووي ، أي للهيدروجين ، في إنتاج العناصر الكيميائية الأثقل كالكربون والأكسجين وغيرها ، تأخذ بالمعاناة بسبب نقص الوقود هذا ، فتبدأ الأزمة على نحو بطيء ثم لا تلبث أن تتفاقم إلى أن تصبح نواة النجم عاجزة عن توليد الحرارة الكافية لمنع الانهيار تحت تأثير الثقالة ؛ وتكون النتيجة انكماشاً متسارعاً يليه انسحاق مروع يحرر طاقة هائلة مصحوبة ، بشكل خاص ، بكميات هائلة من النترينوات ، تلك الجسيمات الرهيفة لدرجة أنها تجتاز كامل الكرة الأرضية دون إعاقة ، والتي تحاول الإفلات من نواة النجم المنهار . إلا أن كثافة قلب النجم الكبيرة جداً والتي تزيد بحوالي مليون مليار مرة عن كثافة الماء ، تقاوم هروب النترينوات وتحاول إبقاءها أسيرة في باطنها . إن مقاومة نواة النجم المنهار لهروب تلك الجسيمات تعتمد على شدة القوة الضعيفة التي تحكم تفاعلها مع بقية أشكال المادة ؛ ولو كانت تلك القوة أشد كثيراً مما هي عليه ، لما كان ممكناً للنترينوات أن تنفلت من أسرها .

ولدى وصول النترينوات إلى الطبقات الخارجية من النجم المنهار، تقوم ببعثرة مكونات هذه الطبقات عبر الفضاء في انفجار بركاني هائل يضيء المجرة بكاملها، ناشراً كميات من الطاقة تعادل مليارات أضعاف الطاقة التي يشعها النجم العادي. يدعى هذا الحدث غير العادي بالمستعر الفائق (Supernova). ويحتوي حطام النجم المتبعثر فيما يحتويه على الكربون والأكسجين ومواد أخرى تنخرط جميعها في النهاية في جُمل النجوم الأخرى حيث تشكل المادة الخام التي تنتج عنها الكواكب والحياة. فلو كانت القوة الضعيفة أشد مما هي عليه بحيث تحتفظ نواة النجم المنهار بمعظم النترينوات لما حدث انفجار المستعر الفائق، ولو كانت تلك القوة أضعف لفقدت تلك الجسيمات قدرتها على بعثرة مادة النجم عبر الفضاء، وفي كلتا الحالتين يكون الناتج كوناً فقيراً بمادة الحياة الأولية، وربما بالحياة ذاتها.

قد يكون في هذا الكون العديد من الخصائص الأخرى ذات الأهمية الكبيرة لوجود الحياة، والتي تدعم الانطباع العام باستبعاد أن يكون الكون مجرد مصادفة. فنحن لا نعلم مثلاً سبب وجود ثلاثة أبعاد مكانية وبعد زماني واحد فقط في هذا العالم. أحياناً يحاول الفيزيائيون والرياضيون استقصاء الكيفية التي يمكن أن تتغير وفقها قوانين الفيزياء لو كان عدد الأبعاد مختلفاً. إن مما لا شك فيه هو أن العالم كان سيبدو غريباً للغاية لو كان ذا بعدين مكانيين فقط بدلاً من ثلاثة. فهل يمكن للحياة أن تنشأ في مثل هذا العالم؟ ذلك سؤال لا جواب عنه.

إننا لا نعرف لماذا كان للجسيمات دون الذرية كتل بالمقادير التي هي عليها، لا كتل أخرى. لكن ما نعرفه بشكل مؤكد هو أنه لو كانت كتلة الالكترون أصغر بعشرة آلاف مرة مما هي عليه، مثلاً، لأخذت المدارات الالكترونية في الذرة بالتقاطع مع نواتها ولتغيرت الكيمياء بشكل جذري. أما لماذا لم يمكن لكتلة الالكترون أن تكون مختلفة قليلاً عما هي عليه، فإن في ذلك لغزاً؛ ربما كانت تلك القيم عشوائية لا مغزى لها، وربما يأتي يوم تظهر فيه نظرية جديدة تصف قانوناً أساسياً يتطلب تلك القيم بالتحديد.

لا بد لنظرة الإنسان إلى موقعه في هذا الكون من أن تتأثر بالجواب عن السؤال التالي: كم هو خاص ومتميز هذا الكون؟ في القرون الماضية، عندما وَفَّر الدين الأساس لنظرة الإنسان إلى الطبيعة، أُخذ الكون بالبداهة على أنه خاص ومتميز فعلاً. لقد ذكرنا في الفصل الأول، أن الحضارات القديمة تعرفت على بعض قوانين الطبيعة، لكنها، وإن عَزَتْ معظم الظواهر إلى الأرواح

والقوى الغيبية ذات النزعات والدوافع الخاصة المستمدة من النزعات الإنسانية، فإنما تكون بذلك قد بنت كل الفعاليات الكونية حول الإنسان ذاته، واضعة إياه في النهاية في مركز الأحداث. ومع ظهور الثورة النيوتنية، احتل الاتجاه المعاكس موضع الصدارة، فأصبح الكون آلة تسير بخطى إيقاعية رتيبة حسب قانون محدد تماماً يقود كل ذرة فيه إلى مصير رسمته سلفاً الظروف البدئية التي سادت في الماضي السحيق، بعيداً عن دوافع الإنسان ونزعاته. أما اليوم فيقول علم الكون الحديث إن الكون قد خُلق في لحظة معينة في الماضي، وهنا يعود السؤال للظهور ثانية عما إذا كان هذا الحدث عشوائياً بمعنى ما أم أنه صُمِّم ليكون بهذا الانتظام البديع.

لقد وقع الإنسان عبر التاريخ في فخ نَسْب خصائص معينة للكون لم يكن لأي منها من وجود. فالآلهة التي آمن بها الأجداد عملت على استمرار الكون في فعاليته المعهودة. أما اليوم، فقد استبدل العلم الحديث الآلهة بقوانين الطبيعة، وحتى أن داروين استبعد التأثير اللاهوتي عن مملكة الحياة نفسها. إن معظم ما كان يعتبر معجزة أصبح يُرى في القرن العشرين نتيجة حتمية لقوانين الطبيعة، فلم يعد وجود الأرض أمراً غير عادي، ذلك لأننا أصبحنا نعرف، وبالخطوط العريضة على الأقل، كيف ومتى ظهرت الأرض إلى الوجود. حتى أن وجود الشمس لم يعد معجزة أيضاً، لأننا نستطيع في كل لحظة الآن مشاهدة نجم يولد من خلال تلكسوباتنا العملاقة. والإنسان الذي كان يوماً يُعتبر أكبر المعجزات، لا يُرى اليوم إلا كعلامة على طريق التطور البيولوجي الذي بدأ قبل حوالي ثلاثة مليارات ونصف من السنين والذي سيستمر لبضعة مليارات أخرى، إن ظل كل شيء على ما يرام. إن في أذهان العلماء اليوم أفكاراً عن كواكب بعيدة في هذا الكون نشأت عليها حياة غريبة كنتيجة لقوانين الفيزياء والكيمياء، وربما كان هناك الكثير من أنماط الحياة الأكثر ذكاءً والأبعد تقدماً مما نحن عليه.

وبموجز القول، فقد أجاب العلم عن كثير من الأسئلة الجوهرية بخصوص الكيفية التي آل بها الكون إلى ما هو عليه، بحيث يمكننا اليوم أن نكتب، ولو بالخطوط العريضة، تاريخه عبر خمسة عشر مليار سنة ماضية ابتداءً من اللمحة الأولى. ولُبُّ القول هو أنه ليس هناك من معجزة أو خصوصية في هذا الكون، عدا الحقيقة الكبرى التي لا يمكن إدراكها واستيعابها وهي أن هناك وجوداً من حيث المبدأ. إننا لا نعلم لماذا كانت قوانين الطبيعة على ما هي عليه، على الرغم من إعجابنا باتساقها وببساطتها الرياضية، لكننا، ونحن نملك هذه القوانين، نرى بفضلها أن الكون الذي نعي وندرك هو نتيجة طبيعية وتلقائية انبثقت عن الانفجار الأعظم.

ذلك هو الإطار الذي تدخل ضمنه المناقشات التي سقناها في الفصلين السابقين. فعلى الرغم من عدم وجود شيء يلفت النظر في موقعنا المحلي من هذا الكون ــ كالحياة على الأرض والمنظومة الشمسية وحتى المجرة نفسهاــ نجد أن في الكون مصادفات مذهلة حقاً. فالنسق الثقالي للمادة كان، على ما يبدو، في فترة الانفجار الأعظم على درجة من الانتظام تُحير العقل وتستعصي على الفهم. ولئن كانت الأجيال السابقة تتعجب وتندهش من ذلك النسق الدقيق الذي تسير وفقه الأمور على كوكبنا، أصبح الجيل الحالي ينظر إلى هذا الكوكب على أنه نتيجة تلقائية لما هو أكثر عجباً. أما لماذا كان ترتيب الكون كذلك في أثناء الانفجار الأعظم، فهذا ما لا نعلم عنه شيئاً.

سيختلف الناس في تفسير هذه النتائج وسيذهبون في ذلك مذاهب شتى. فبالنسبة لأولئك الذين ما زال التفسير الديني يلعب عندهم دوره في فهمهم للطبيعة، ليس الانتظام الكوني في طور التكوين الأول إلا تعبيراً عن إرادة الله الذي فَصَّل الكون على ذلك النحو المتميز ليستوطنه الإنسان. ولدى بعضهم الآخر، من العلماء على الأقل، يتعزز الرأي بأن هذا الكون ليس وحيداً، بل واحد من مليارات لا حصر لها من العوالم الأخرى التي لا يحصل في الغالبية العظمى منها أي شيء يثير الاهتمام. وليس على تلك العوالم أن تكون هناك بعيداً في الفضاء العظيم، بل قد تكون موجودة، مثلاً في مناطق نائية من الفضاء ولا نستطيع رؤيتها، أو أنها كانت قد وُجدت في الماضي السحيق أو أنها ستظهر في المستقبل البعيد عندما يبلغ هذا المخطط الكوني أجله.

لقد تناول جون ويلر، مخترع الفضاء العظيم، كوناً يستمر في توسعه حتى يأتي زمن يعود بعده إلى الانكماش ثانية، دافعاً كل المجرات بعضاً نحو بعض لتتراطم في كارثة كونية هائلة تشبه الانفجار الأعظم، لكن في الاتجاه المعاكس (انقباض أعظم). وفي عالم اللمحة الغريب، الذي يعود إليه الكون عندئذ، يمكن أن يُعاد طبخ الفيزياء مرة أخرى، بحيث يبرز الكون ثانية، إذا أتيح له النجاة من التلاشي في المتفرد، متمتعاً بأرقام جديدة ودرجات مختلفة عن سابقتها من الاضطراب الكوني البدئي، وقد تظهر قيم جديدة للثقالة وللقوى الأخرى، وحتى ربما قوانين فيزياء جديدة. ويتابع الكون على هذا المنوال دورة بعد دورة ــ توسعاً وتقلصاًــ يخرج بعد كل منها بحلة جديدة. معظم الدورات ستكون على الأرجح فقيرةً بمقومات الحياة، لأن الكون سيتمتع بالخصائص غير الملائمة، بموجب قوانين الاحتمال. وفي النهاية، وعلى الرغم من كل المفارقات الفلكية، قد تأتي أحجار النرد، بالخلط العشوائي البحت، على الأرقام الصحيحة، وتكون الدورة عندئذ ملائمة لنشوء الحياة وظهور الكائنات الذكية. إننا إذا كنا نعتقد بوجود عدد لا متناه من العوالم الأخرى، سواء في

المكان أو الزمان أو في الفضاء العظيم، فلن يكون هناك ما يستحق الدهشة في ذلك الانتظام الكوني البديع الذي نراه. فنحن قد اخترنا هذا الكون من خلال وجودنا ذاته، وهذا الكـون ليس إلا مصادفة عليها أن تأتي عاجلاً أم آجلاً.

أخيراً، سوف يكون هناك من لا تروقهم فكرة أن الأكوان الأخرى موجودة حقاً. وعلى هؤلاء، إما أن يسلموا عندئذ بأن العالم كان محظوظاً للغاية في بنيته التي نراها، وأن يقبلوا هذه الحقيقة كما يقبلون أن السماء زرقاء، وإما أن يرفضوا كامل الفلسفة الكامنة وراء الاستنتاجات التي أوردناها، وأن يبحثوا بالتالي عن البرهان على أنه ليس هناك من شيء متميز عجيب في النظام الذي ساد طور التكوين البدئي. ولكي يصلوا إلى تلك الاقتراحات المضادة، ينبغي عليهم أن يبينوا كيف تمكنت تلك الدرجة من الانتظام العالي للمادة والحركة الكونية من الظهور تلقائياً من عملية فيزيائية معينة على نحو يدرأ توليد كميات هائلة من التسخين الزائد ويحول دون التوجه إلى نشوء الثقوب السوداء الأعلى احتمالاً بكثير من نشوء النجوم. إذا ظهرت في المستقبل على المسرح فيزياء جديدة تستطيع تقديم التفسير الملائم، لن يكون هناك من عجب عندئذ في أن الكون لا يعج بالثقوب السوداء بدلاً من النجوم، وفي أن درجة حرارة الفضاء الكوني هي على ما هي عليه الآن.

ليس من الممكن في الوقت الراهن إعطاء جواب محدد عن مثل هذا السؤال، لأننا لا نعرف إلا القليل عن فيزياء المراحل المبكرة جداً للكون. فالظروف والشروط المتطرفة التي كانت سائدة حينئذ بعيدة كلياً عن جميع الإمكانيات التجريبية المتاحة اليوم وعن معظم الوسائل الرياضية المتوفرة. لكن على أي حال، وإذا لم نستطع أن نحسم الجدل حول ما إذا كان الكون قد رُتِّب على النحو الذي هو عليه أم أنه أتى كذلك نتيجة لفيزياء لا نعرفها، فإننا نستطيع على الأقل تسليط الأضواء على الموضوع من زاويته الجديدة. فلقرون طويلة، شغلت الأسئلة الكبرى بال الإنسان حول وجوده وعلاقته بوجود الكون، لكننا اليوم، ومن خلال معرفتنا العلمية الحديثة، أصبحنا نستطيع أن نرى الأمر تحت ضوء جديد، إذ لم يَعُد الإنسان مجرد متفرج على الكون أو مجرد حدث عابر في مسلسل المسرحية الكونية، بل هو جزء متكامل مع الوجود نفسه. وسواء ظهرت أم لم تظهر في المستقبل معرفة جديدة، حول الشروط والظروف التي سادت طور التكوين المبكر، تغير من استنتاجاتنا حول كيف بدأت الأمور، فإننا نعلم على الأقل أننا نلعب دورنا في هذه المسرحية.

١٠

الزمن العظيم

تم تخصيص قدر كبير من الفصول السابقة لدور الإنسان كمراقب في الكون، حيث ظهر لنا بشكل خاص الترابط الوثيق بين طبيعة الحقيقة ــ وربما بنية الكون ذاته أيضاً ــ وبين وجودنا كأفراد واعين ندرك العالم من حولنا. إن قبول هذا الدور المركزي للإنسان في الطبيعة يأتي مخالفاً لكل التطورات العلمية السابقة التي أنزلته من برجه على قمة المخلوقات إلى مجرد كائن حي تجري به عجلة الأحداث وتدفعه رياحها كما تشتهي دون أن يملك من أمره شيئاً. لكن ومع هذا الدور الجديد الذي يضفيه العلم الحديث على الإنسان، يبقى هناك غموض كبير مخيم على آلية الإدراك وطبيعة الوعي لديه: هل إدراك المرء لوجوده وللمحيط من حوله خاصة مميزة للحياة الإنسانية فحسب؟ هل هو مقتصر على الحيوانات الرئيسة فقط؟ أم أنه يشمل أنماط الحياة كافة؟.

إن التعامل مع مسائل الوعي والإدراك أمر غريب كلياً عن أعراف وتقاليد الفيزياء التي تلجأ عادة إلى التجرد عن المراقب، لتعالج الحقيقة الموضوعية بعيداً عن مؤثراته الشخصية. فالتجارب المخبرية المتكررة، والقياسات التي تجريها وتسجلها الأجهزة والآلات، والتحليل الرياضي لنتائج التجربة، وغير ذلك من التقنيات الأخرى، جرى تطويرها جميعاً بغية عزل المجرب ذاته قدر الإمكان عن الحقائق العلمية المجردة. لكن الحقيقة الموضوعية على ما يبدو ــ وكما رأينا في الفصول السابقة ــ ليست إلا وهماً؛ ذلك أن المخابر جميعاً، بما فيها من وسائل وأدوات، تدين أصلاً بوجودها للإنسان الذي يتداخل وجوده بالتالي مع الخصائص الجوهرية للطبيعة ومع ترتيب الكون بكامله. فعاجلاً أو آجلاً، لا بد للمراقب ــ أي نحن ــ من الظهور على المسرح.

لو فكرنا جدياً في موضوع الوعي، لواجهتنا المعضلة الكبرى المتمثلة في أن ما من أحد استطاع أن يُسجل وجوده ـــ أي الوعي ـــ من خلال التجربة. بتعبير آخر، لقد جرى استقصاء دماغ الإنسان على نحو واسع، وأصبح جزء كبير من آلية عمله واضحاً ومفهوماً، ومع ذلك لم يمكن لأحد حتى الآن أن يُري تجريبياً أن الوعي لازم كعنصر إضافي لفعالية الدماغ. إن بعض العلماء يعتقد أن الوعي هو فعالية الدماغ ذاتها، وهذا كل ما يمكن قوله، في حين أن الفكرة تبدو لبعضهم الآخر غير مقنعة. ولقد رأينا في الفصل السابع كيف أن واحداً منهم على الأقل يرى الوعي فعلاً على أنه جملة فيزيائية محددة، مهيمنة على الدماغ، تعمل كآلية تحيل الحالة الكمومية المعلقة إلى حقيقة.

وسواء كان العقل موجوداً أم لا كبنية مستقلة عن فعالية الدماغ، فإن هناك أسراراً غامضة حول طبيعة الوعي في جوهره، وأبرز ما يتجلى به هذا الغموض هو إحساسنا بالزمن. لقد جرى استعراض الخطوط الرئيسية لنظرية النسبية في الفصل الثاني، حيث بيَّنا كيف أن الفيزيائي يرى العالم بأربعة أبعاد، ثلاثة مكانية و واحد زمني، وكيف أنه يصور العوالم المختلفة بخطوط تنساب عبر الامتداد الزمكاني وتمثل تواريخ حياة الجمل الفيزيائية وهي تمارس فعالياتها. ليست تلك الخطوط مستقلة فيما بينها، بل هي تتداخل وتتفاعل من خلال قوى كثيرة ومختلفة، على شكل شبكة عملاقة من التأثيرات والاستجابات المنسابة من الماضي إلى المستقبل: وذاك هو الكون!.

ليست هذه إطلاقاً صورة الزمن كما نحس به. فنحن، عندما ننظر إلى العالم من حولنا، نرى أحداث الرواية تتوالى أمامنا حدثاً بعد حدث؛ إن العالم في نظرنا شريط سينمائي، حيث تحدث الأشياء وتحصل التغيرات ويظهر المستقبل إلى الوجود ليتقهقر بعدئذ في غياهب الماضي. باختصار، يبدو لنا أن الزمن يمر. فكيف يمكن أن نوفق بين الصورة الحركية للعالم الذي نعيشه فعلاً وبين الصورة السكونية للزمكان، والتي لا تنطوي على أكثر من وجوده؟.

دعنا نعاين عن كثب طبيعة الزمن كما نحسه. إننا ـــ في حياتنا اليومية ـــ نتعامل مع نمطين للزمن متمايزين، وربما متضاربين، لكنهما يتعايشان في عقولنا دون أن يؤديا إلى متاعب وصعوبات فكرية لأي منا. فنحن في أولهما نَسِمُ الأحداث بالمواقيت: تم انتخاب كارتر رئيساً في عام ١٩٧٦؛ سيحصل كسوف كلي للشمس في بريطانيا في عام ١٩٩٩؛ ضبطت ميقاتيتي لتدق على الساعة الثالثة من بعد ظهر الثاني عشر من شهر تشرين الثاني من عام ١٩٨٢ ... إلخ. إن الزمن هنا يشبه

الخط الممتد من حلكة الماضي السحيق إلى المستقبل البعيد، وكل نقطة تحمل تاريخاً يحدد لحظة وقوع الحدث، منسوبة إلى حدث مرجعي ما ذي مغزى، كميلاد المسيح مثلاً. من الواضح أن إعادة تمثيل التواريخ، باستخدام السنة القمرية مثلاً، لا يغير من الأحداث ولا من العلاقة بينها، وأثره لا يعدو أثر استخدام المتر لقياس المسافات عوضاً عن القدم.

إن ربط الأحداث بتواريخها يكافئ تماماً العلاقة بين الموقع الجغرافي ومكانه على الخارطة، ومن هذا المنظور يتبنى الفيزيائيون للزمن مفهوماً يعتمد على سلسلة العلامات التأريخية. فهو بكل بساطة موجود كخط ممتد مليء بالأحداث من لحظة الانفجار الأعظم وحتى المستقبل الأبدي (أو حتى الانقباض الأعظم، إن كان هناك انقباض للكون). نُذكِّر هنا بنقطة دقيقة وهامة يعيها الفيزيائيون جيداً، على الرغم من أنها غير متجلية في حياتنا العادية، وهي أن الزمن نسبي يتبع للحالة الحركية للمراقب. فقد رأينا في الفصل الثاني أن فكرة الآنية أو التزامن، أي وقوع حادثين في لحظة زمنية واحدة، غير ذات معنى إلا إذا وقع الحادثان في مكان واحد، ذلك أن المراقبين المختلفين الذين يتحركون بسرعات مختلفة، يختلفون حول ما إذا كان الحادثان متزامنين أو متواليين، وبالتالي يعطونهما مواقيت مختلفة. لكن ليس في هذه التعقيدات من مشكلة طالما أننا نعرف القواعد التي تربط مجموعة المواقيت الخاصة بمراقب ما مع تلك الخاصة بمراقب آخر، وبالتالي نستطيع التحويل بين الجملتين. نشير هنا إلى أن هذه القواعد صحيحة تماماً، وهذا ما أكدته التجارب المخبرية العديدة.

إلى جانب وشم الأحداث بمواقيتها كما أسلفنا، نحن نستخدم أيضاً نمطاً مختلفاً من اللغة والأسلوب يقوم على الصورة الحركية للزمن، أي الظروف الزمنية. فنحن نقول إن معركة هاستنغز قد وقعت في عام ١٠٦٦، وأن الكسوف سوف يحصل في عام ١٩٩٩، وأن ميقاتيتي تدق الساعة الآن. إن الماضي والحاضر والمستقبل جميعاً جوهرية لإحساسنا بالزمن، ونحن نقبل بها عادة بالتسليم دون اعتراض. وبسبب هذه الصورة، يتمتع الزمن ببنية أكثر غنى من كونه مجرد علامات تأريخية توقت الأحداث. إن الزمن ينقسم هنا إلى ثلاثة مجالات؛ المستقبل، وهو المجهول الذي قد نستطيع إخضاعه جزئياً لإرادتنا: فهو يحوي الأحداث التي لم توجد بعد والتي قد لا نستطيع حتى تعيينها بسبب اللاحتمية الكمومية، لكنها يمكن أن تبرز إلى الوجود اتفاقاً. والماضي، الذي يمكن أن نعرفه ونستذكره جزئياً، يحوي حوادث وقعت لا سبيل لنا إلى تغييرها مهما اشتدت رغبتنا. فالأحداث ظهرت مرة إلى الوجود ثم انسحبت منه إلى حيث لا يمكن استرجاعها. وأخيراً، هناك الحاضر ــ الآن ــ، ذلك اللغز المارق الذي يلتقي عنده الماضي بالمستقبل دون أن يدوم، والذي

يضفي على الأحداث المزامنة له نوعاً من الوجود الحقيقي المحسوس الذي تفتقده أشباح أحداث الماضي والمستقبل. إن الحاضر هو نافذتنا على العالم نستطيع من خلالها ممارسة إرادتنا الحرة والتأثير على المستقبل. لذلك، فإن صورة الحقيقة لدينا تمتد بجذورها عميقاً في بنية الزمن الظرفية.

إن تقسيم الزمن إلى الماضي والحاضر والمستقبل هو ترتيب للأفكار أكثر عمقاً من العلاقات البسيطة بين التواريخ والمواقيت، كالقول مثلاً إن كارتر قد انتُخب بعد معركة هاستنغر، أو إن ميقاتيتي دقت الساعة قبل كسوف الشمس. إن المزاوجات الأخيرة المُشكّلة بواسطة قبل وبعد تُعبِّر عن علاقات زمنية مستقلة تماماً عن اللحظة الزمنية التي تتم معاينتها فيها. فعبارة «كارتر بعد هاستنغز» كانت دائماً صحيحة، وهي صحيحة الآن، وستبقى صحيحة في المستقبل.

قد لا يبدو حتى الآن أن هناك أي تضارب بين الوجود المشترك للمواقيت وللظروف الزمنية في أذهاننا، إذ أن التضارب يظهر عندما ندرك أن نظام الظروف الزمنية ليس ساكناً كالمواقيت بل هو متحرك. فالحاضر، الذي نُعَرِّفه عادة على أنه لحظة إدراكنا الواعي، يتحرك بشكل دائم نحو المستقبل ماراً عبر أحداث جديدة ومودِعاً أخرى في عالم الذكرى والتاريخ. يمكن التعبير عن هذه الصورة بشكل آخر، وهو أن نعتبر لحظة الإدراك الواعي ــ الآن ــ ثابتة، بينما يتدفق الزمن كالتيار عبر وعينا مخلفاً الماضي بعيداً ومستعجلاً المستقبل في القدوم. وفي كلتا الحالتين تضفي هذه الصورة الحركية للزمن المنساب المتدفق الحيوية والتغير على حياتنا اليومية.

لكن عندما يأتي الأمر إلى العلم، تختلف الصورة. ففي حين أن رجال العلم يستخدمون كغيرهم الظروف الزمنية من ماض وحاضر ومستقبل في حياتهم اليومية وفي مناقشة تجاربهم المخبرية وملاحظاتهم العلمية، نجد أنه لا وجود لهذه الظروف الزمنية في تحليلهم النظري لتلك النتائج، وإنما هناك مواقيت وتواريخ فقط. فليس في معادلات نيوتن أي مقدار يعبر عن الحاضر كما ليس فيها أي شيء يرصد حركة الزمن. صحيح أن الزمن ذاته موجود في المعادلات، وهي تتنبأ بالموعد الذي سيحصل فيه حدث ما (كوصول التفاحة إلى الأرض لدى سقوطها مثلاً)، إلا أن تلك المعادلات عاجزة، هي وغيرها مما يزخر به العلم، عن إخبارنا عن ماهية الزمن. ففي التجربة، كما في التحليل النظري، يعجز المخبر عن كشف تدفق الزمن، إذ ليس هناك من جهاز يستطيع أن يُري مروره. وكما نوهنا في الفصل الثاني، يخطئ من يظن أن تلك هي وظيفة الميقاتية؛ فالميقاتية ليست سوى وسيلة لوشم الأحداث بالمواقيت. ولئن كنا نستشعر فعالية الميقاتية كحركة، إلا أن هذه الحركة تجري في

المكان (دوران العقارب على وجه الساعة) وليس في الزمن. إنه انطباعنا النفسي هو الذي يضفي على الميقاتية، بسبب علاقتها بالزمن، ما يجعلها تبدو وكأنها تقيس مرور الزمن.

يتجلى الإبهام والميوعة في مفهوم الزمن المتحرك بوضوح إذا سألنا ما هي سرعة جريان الزمن؟ لكن ما هي الأداة التي تستطيع قياس سرعة مرور الزمن؟ لو كان هناك وجود لمثل هذه الأداة، لأمكننا مثلاً الرجوع إليها كل يوم لنرى ما إذا كان الزمن قد مرَّ بطيئاً ذلك اليوم، أم أن وتيرة الأحداث كانت متسارعة. إن إحساس معظم الناس يتسم بصفات من هذا القبيل، فمن المألوف أن عشر دقائق على كرسي طبيب الأسنان تبدو كالساعات إذا قورنت بأوقات السعادة، وأن يوماً مليئاً بالحيوية والنشاط يمر مر السحاب. هذه طبعاً أعراض نفسية نابعة من الحالة الفكرية والعقلية للمرء ذاته، ومعدل مرور الزمن يبقى دائماً يوماً في كل يوم وساعة في كل ساعة وثانية في كل ثانية. حتى الأيام المملة نفسها لا تستغرق إلا يوماً واحداً. فليس هناك إذن من معنى لقولنا «استغرق هذا اليوم اثنتي عشرة ساعة فقط»، لأن ذلك إن كان يعني شيئاً فإنما يعني أن «هذا اليوم بدا كما لو كان اثنتي عشرة ساعة فقط».

إذا أصررنا على الإبقاء على الصورة الحركية للزمن، فسيظهر لنا تباين صارخ بين التواريخ والظروف الزمنية. فالتواريخ تخصص للأحداث مرة واحدة وإلى الأبد، في حين أن الظروف الزمنية من ماضٍ وحاضرٍ ومستقبل تتغير من لحظة إلى أخرى بالنسبة إلى الحدث نفسه. فانتخاب كارتر كان حدثاً مستقبلياً في عام ١٩٧٥، وهو حدث ماضٍ اليوم. فكيف يمكن للحدث الواحد في تاريخ معين أن يكون ماضياً وحاضراً ومستقبلاً؟ من الواضح أن الماضي والحاضر والمستقبل ليست صفات متأصلة في طبيعة الأشياء، كما لا يمكن جعلها محددة تماماً، لأنك إذا سُئلت عن حادث ما متى أصبح ماضياً وأجبت «عندما حصل»، فإن ذلك لا يعدو تحصيل حاصل. إذ كيف نعرف أنه قد حصل؟ طبعاً لأنه أصبح في الماضي. ويدور النقاش في حلقة مفرغة.

والحاضر شيء لا يُدرك أيضاً، إذ ما هو الحاضر؟ نحن متفقون بالتأكيد على أن الحاضر هو لحظة وحيدة (على الأقل مدة صغيرة لا يمكننا أن ندرك أي بنية داخلية لها)؛ لكن أي لحظة؟ الجواب بالطبع هو: كل لحظة. فجميع اللحظات هي حاضر عندما تحين. لكن متى تحين؟ في تلك اللحظة! ولا يصل النقاش إلى شيء. حتى بعد التمحيص المعمق يستنتج المرء أنه لا يستطيع أن يقول أي شيء ذي مغزى عن تلك الظروف من ماض وحاضر ومستقبل، وأن هذه النوعيات واضحة وجلية على نحو لا يمكن معه التعبير عنها بالكلمات. لقد عبر سانت أوغستين

(Saint Augustine) عن هذه الدوامة الفكرية بقوله إنه يعلم ما هو الزمن طالما أن أحداً لا يسأله عنه. كما عبر تشارلز لامب (Charles Lamb) عن شعوره بقوله: «لا شيء يحيرني أكثر من الزمان والمكان، ومع ذلك فإنهما ليسا الأكثر إزعاجاً لي، لأنني لا أفكر بهما مطلقاً».

على الرغم من أن شعورنا بجريان الزمن وبوجود الظروف الزمنية من ماض وحاضر ومستقبل لا يسهم البتة في فهمنا للعالم الموضوعي من حولنا، تبقى هذه المفاهيم ضرورة لا مفر منها في ترتيب شؤوننا الشخصية وممارساتنا الحياتية اليومية. فهل هذه المفاهيم مجرد أوهام أم أن أحاسيسنا تستطيع أن تتحسس بنية للزمن — الزمن العظيم — لم يمكن لمخابرنا الكشف عنها حتى الآن؟ هل تعتمد الحقيقة فعلاً على وجود لحظة الحاضر؟.

تمثل هذه الأسئلة إحدى التحديات الكبرى التي تواجه العلم والفلسفة الحديثين، وليس هناك من معيار للتفاهم بشأنها، ولا حتى لكيفية صوغ هذه المفاهيم. لكن، وكما بينت الفصول السابقة من هذا الكتاب، بدأت التطورات الجديدة في نظرية الكم وفي علم الكون تطرق هذه المواضيع، ويبدو أننا نقترب من اليوم الذي علينا أن نقف فيه مع تلك المفاهيم وجهاً لوجه.

دعنا نتفحص وجهتي النظر المتعارضتين في رؤية الزمن، ولنبدأ أولاً بالموقف الموضوعي الذي يتخذه على الأرجح معظم العلماء وكثير من الفلاسفة. إن الزمن في وجهة النظر هذه لا يجري، والماضي والحاضر والمستقبل ليست سوى وسائل لغوية خالية من المضامين الفيزيائية. قد تبدو هذه المقولة على درجة كبيرة من الغرابة، ومع ذلك يمكن الدفاع عنها بسهولة كبيرة. فالمسألة ببساطة هي أن هناك تواريخ وأحداثاً مقترنة بها فقط، وأن هناك بين الأحداث علاقة ماض — مستقبل، لكن الأحداث لا تحصل. وبهذا الصدد، يقول الفيزيائي هرمان ويل (Hermann Weyl): العالم لا يحدث، إنه يكون وحسب. في هذه الصورة، الأشياء لا تتغير، فالمستقبل لا يأتي إلى الوجود والماضي لا يضيع، لأن كلاً من الماضي والمستقبل موجودان على قدم المساواة. بعد قليل، سوف نشرح كيف أن نظرية الكم تنتهي إلى هذه الصورة الحتمية على ما يبدو، إلا أننا نكتفي هنا بالإشارة إلى أنه إذا تبنى المرء نظرية إفرت في العوالم المتعددة كتفسير لنظرية الكم، فإنه لا يوجد عندئذ مستقبل واحد فقط، وإنما هناك المليارات منه، وبالتحديد هناك مستقبل مقترن بكل من فروع العالم المنبثقة من هذه اللحظة. لكن وعلى الرغم من هذه التعقيدات الإضافية تبقى المسألة كما هي.

إن ما يدعو إلى العجب والدهشة هو أن الصورة أعلاه تبدو على درجة كبيرة من الغرابة تثير

الاستنكار، لا لشيء إلا لأنها صحيحة، وعلى نحو واضح وجلي، في كل واحدة من عباراتها. قد يرد المتشكك بأن الأشياء تحصل فعلاً وأن هناك تغيراً بالتأكيد: لقد كسرت اليوم إبريق الشاي، وحصل هذا الحادث في الساعة الرابعة، وهو تغير نحو الأسوأ. إن إبريق الشاي مكسور الآن. دعنا نعاين ما قاله المتشكك عملياً. قبل الرابعة كان الإبريق سليماً، وبعد الرابعة كان مكسوراً، وفي الرابعة تماماً كان في حالة انتقالية. هذه الصيغة اللغوية ــ لغة الفيزيائيين في وشم الأحداث بالتواريخ ــ تحمل عملياً المعلومات نفسها لكن بلهجة أقل ارتباطاً بشخصية المراقب. ليس هناك ضرورة مُلحة للقول إن الإبريق السليم قد تحول إلى مكسور في الرابعة أو أن الحادث قد حصل في الرابعة. هناك تواريخ وحالات للإبريق، وليس هناك من ضرورة لأكثر من هذا لكي يقال.

ويرد المتشكك قائلاً: ربما لا أحتاج استخدام لغة الزمن المتحرك، لكن هذه هي طريقتي في تحسس العالم، وذلك هو انطباعي النفسي عن الزمن. إنني أشعر به وهو يمر. هذه بالتأكيد ملاحظة مشروعة ومن الواضح أنها صحيحة، لأننا جميعاً نشترك بالإحساس الجوهري بأن الأشياء تحصل من حولنا وأن الزمن يجري. ومع ذلك، فإن من الخطر أن نقيم الكثير من العلم على أسس من الأحاسيس النفسية، لأننا نعرف الكثير من حالات التضليل التي يمكن أن تقودنا الأحاسيس إليها. فجميعنا يشعر أن القمر يبدو أكبر عندما يكون أقرب إلى الأفق منه إلى كبد السماء، مع أنه ليس كذلك على الإطلاق. وكلنا نشعر أن مسافة مئة قدم شاقولية أطول من المسافة الأفقية المماثلة، وجميعنا نشعر أن الأرض ثابتة ...! فهل يجب أن تكون ثقتنا بأحاسيسنا حول الزمن أكبر من ثقتنا بها في أمور أخرى من حركة ومسافات ومواضع؟.

إن من السهل توليد الإحساس الداخلي بالجريان والحركة؛ فعندما يدور أحدنا على نفسه لبضع دقائق، يتحرك السائل الموجود في أحد أركان الأذن الداخلية والمسؤول عن مساعدة الدماغ على الإحساس بالاتجاهات والتوازن. ولدى التوقف، يستمر الإحساس بالحركة ... ونشعر بالدوار. هنا يمكن للمرء المصاب بالدوار أن ينظر بثبات إلى نقطة ما على الجدار ليقنع نفسه، عقلانياً، أن العالم من حوله ليس متحركاً ولا دائراً؛ لكن ومع ذلك، ومهما حاول المرء أن يقنع نفسه بأن الجدار ثابت، ستبقى الحركة مسيطرة على أحاسيسه. قد يتساءل المرء لماذا يكون الإحساس بالدوران باتجاه عقارب الساعة مثلاً، وليس العكس، على نحو مشابه لتساؤله لماذا يجري الزمن دائماً من الماضي إلى المستقبل. إنه لا يوجد على ما يبدو من سبب جوهري يدعو للافتراض بأن جريان الزمن هو أكثر من وهم ينتج عن فعاليات الدماغ كذاك الإحساس في أثناء الدوران.

إن القبول بجريان الزمن على أنه وهم لا يقلل بطبيعة الحال من أهميته. فأوهامنا كأحلامنا، تمثل جانباً فعلياً من الحياة. قد لا يكون لها حقيقة موضوعية، إلا أننا رأينا سابقاً أن الحقيقة ليست في جميع الأحوال سوى مفهوم غامض مبهم. أفلا يلعب الندم على الماضي والخوف من المستقبل دوراً رئيسياً في حياتنا وممارساتنا اليومية؟ على أي حال، وتبعاً للصورة السكونية للزمن التي يأخذ بها الفيزيائيون، ليس هناك من حاجة للندم على الماضي ولا للخوف من المستقبل. فالموت مثلاً يجب أن لا يحمل لنا من الخوف أكثر مما تحمل حالة ما قبل الولادة، لأنه إذا لم يكن هناك تغير، فإن الناس لا يموتون بالمعنى الحرفي للكلمة. هناك تواريخ فقط تدل على متى يكون الإنسان حياً واعياً وأخرى (قبل الولادة وبعد الموت) تدل على العكس. طبعاً لا يستطيع أحد أن يكون واعياً لحالة اللاوعي، لأن في ذلك تناقضاً واضحاً وجلياً. قد يكون هناك اعتراض بمعنى أننا نكون واعين للحظة معينة فقط وأن تلك اللحظة تغذ السير إلى الأمام، بحيث أنها عندما تصل إلى الموت يضيع كل شيء ويتوقف. لكن، ليس صحيحاً أننا نكون واعين للحظة واحدة فقط، إذ أنه من تحصيل الحاصل أننا نعي كل لحظة نكون فيها في حالة وعي. إن القول بأننا نكون واعين للحظة واحدة في الوقت الواحد هو كلام بلا معنى، لأن من الواضح أن كل لحظة منفصلة عن كل اللحظات الأخرى، فكل لحظة في حياتنا هي الآن بالنسبة للحالة العقلية المقترنة بها؛ إنه ليس من الممكن أن تكون هناك الآن واحدة ولا حاضر وحيد، لأن جميع اللحظات التي نعايشها هي الآن، ولأن جميع ممارساتنا هي حاضر.

على الرغم من وضوح كل هذه الملاحظات، يبقى لدى المرء إحساس عميق بعدم الرضى، وبأنه ما زال هناك شيء مفقود. وبالفعل، فقد عانى الفيزيائيون طويلاً من الطموح لإيجاد ذلك العنصر المفقود الذي يمكن أن يقوم عليه تدفق الزمن وجريانه و وجود لحظة الآن. وفي سبيل إيجاد الجواب لجأ بعضهم إلى علم الكون، ولجأ آخرون إلى نظرية الكم. في البداية بدا أن اللاحتمية في نظرية الكم يمكن أن تقدم حلاً، لأنه إذا كان المستقبل ما زال قابعاً في ميزان المصادفات، فإنه قد يكون هناك ما يجعله أقل حقيقة من الماضي أو الحاضر. لقد وجد بعض الفيزيائيين وجهاً للشبه بين الانطباع بقدوم المستقبل إلى الوجود وبين نزوع الحقيقة إلى البروز من بين الإمكانات الكمومية المتراكبة المتاحة. ظاهرياً، يبدو هذا القول مقنعاً، لأن من المعروف أن عملية النزوع تلك هي عملية غير متناظرة في الزمن (أي غير قابلة للانعكاس)، وبالتالي يكون لها بعض خصائص الذاكرة. وتبعاً لهذا الاعتقاد، يكون الحاضر ظاهرة حقيقية تمثل اللحظة التي يستحيل فيها العالم من

محتمل إلى واقع ؛ فرؤية قطة شرودنغر مثلاً حية أو ميتة ، هي لحظة قرار يُعرِّف شكلاً ما للحاضر. لقد تم استخدام هذه الأفكار سابقاً للاستدلال على وجود الإرادة الحرة ، ذلك المفهوم المتداخل بعمق مع صورة الحقيقة وطبيعة الزمن لدينا ، حيث إذا لم يكن المستقبل محدداً سلفاً ، يمكن لعقولنا أن تؤثر على العالم ، في السوية الكمومية ، لتقلب بالتالي ميزان المصادفات باتجاه ما نختار.

يمكن للمحاكمة أن تسير على منوال ما يلي : يعمل الدماغ بموجب نبضات كهربائية ، والتيار الكهربائي يتكون من الكترونات تتحرك وفقاً لقوانين الكم ، مما يعني أنها لا تتصرف دائماً على نحو منتظم لأنها تخضع للتفاوتات العشوائية واللاحتمية الكمومية. افترض أن هناك عقلاً إلى جانب الدماغ يستطيع أن يعمل في السوية الكمومية على تحديد المسارات الفعلية ، من بين المسارات العديدة الممكنة ، التي على مجموعة من الالكترونات الهامة لعملية الدماغ أن تسلكها. ليس في هذا ما يناقض نظرية الكم ، لأن هناك العديد من المسارات الممكنة ، والعقل يضمن ببساطة تحقيق المسار الذي يختاره. عندئذ ، يكون العقل قادراً على ترتيب حالات الدماغ كلياً بما ينسجم مع قوانين الفيزياء ، وحالات الدماغ بدورها تقود الجسم الذي يتفاعل مع المحيط من حوله ، ولذلك يكتسب العقل السيطرة على العالم المادي. لقد ذهب بعض الباحثين إلى أبعد من الافتراض ، وادعوا أنهم قاموا فعلاً بقياس أثر العقل على الفعاليات الكمومية ، بجعلهم أحد الأشخاص يريد نمطاً معيناً من الإشعاع النووي في بعض التجارب الخاصة.

لا يمكن في الواقع لهذه الأفكار الصمود أمام التمحيص المفصل والمعاينة الدقيقة. فحقيقة أن المستقبل ليس محدداً لا تعني بالضرورة أنه غير موجود ، بل تعني فقط أنه لا يأتي تابعاً حتمياً للماضي. هذا بالإضافة إلى أن النظرة إلى المستقبل على أنه غير معين ، خلافاً للماضي الذي نعتبره واقعاً ملموساً ، ذات صلة وثيقة بالطريقة العملية التي ننجز بها التجارب ونرتب نتائجها. إن التجارب المخبرية تتضمن تحضيرات مسبقة وتحليلات لاحقة بالإضافة إلى تنفيذ التجربة ذاتها ، وإطار العمل هذا يفرض علاقة ماض ـــ مستقبل غير متناظرة على صعيد تفسير النتائج. ففي الواقع ، نحن نستطيع إجراء مجموعة من التجارب المعكوسة ، بمعنى أنه بدلاً من تحضير حالة كمومية معينة في البداية ومن ثم قياس النتيجة ، يتم القيام بالعكس تماماً ، حيث يتم تحصيل النتائج ومنها يجري بعدئذ استقصاء الحالة البدئية. من الواضح أن إجراء هذا كله ، من أسئلة وتحليل للنتائج ، ضمن إطار زمني معكوس ، يجعل الماضي ، بدلاً من المستقبل ، شيئاً غير معين (تتشعب عندئذ فروع أكوان إفرت المتعددة باتجاه الماضي لتندمج مع بعضها وتتحد بدلاً من أن تتفرع وتتباعد). من هذا

ينتج أن الحالات المختلفة للماضي والمستقبل في اللاحتمية الكمومية ليست متأصلة في الطبيعة، وإنما هي انعكاس لاعتباراتنا وأوهامنا، وللبنية العقلية الفوقية التي من أجلها يتم تحصيل النتائج التجريبية التي تتبع بدورها إلى أن الكون ذو طبيعة لا متناظرة زمنياً ناجمة عن العمليات الترموديناميكية* التي تحصل حولنا. لذلك، ومرة أخرى، فإن الانطباع عن المستقبل بأنه صائر إلى الوجود يبدو مجرد وهم قائم على عدم التناظر الزمني للعالم، وليس أثراً فعلياً لجريان الزمن أو الحركة عبره.

على الرغم من أن اللاحتمية الكمومية تبدو غير قادرة على تقديم تفسير واضح للجريان الموضوعي للزمن، أو لتقسيمه إلى ماض وحاضر ومستقبل، إلا أنها يمكن أن تقدم تفسيراً للإحساس الذاتي بالزمن إذا قبلنا بتفسير ويغنر لنظرية الكم. فكما نذكر من الفصل السابع، يقترح ويغنر إقحام العقل كوسيط لعملية التداعي من التراكم الكمومي شبه الموجي إلى حقيقة فعلية. عندئذ يمكن القول إن الانطباع بأن الزمن يجري إنما ينتج عن التداعي الكمومي المستمر الذي يجري في العقل.

ليس هناك من دليل ــ باستثناء بعض التجارب الخاصة التي نوهنا عنها أعلاه ــ على أن العقل يؤثر على الدماغ في السوية الكمومية بحيث يقلب ميزان المصادفات كي تأتي الأمور حسب اختياره، علاوة عن أنه قد يكون من اللازم البرهان على أن الآثار الكمومية الناجمة عن ذلك التأثير يمكن تضخيمها بقدر كاف لتعطي إشارات كهربائية بالشدة الملائمة لعمل الدماغ. وحتى لو كان الأمر كذلك، فليس من الواضح ما إذا كان يؤدي فعلاً إلى إرادة حرة حقيقية أو حتى إلى ما إذا كان للإرادة الحرة من معنى. ذلك لأننا إذا اعتبرنا العقل نفسه غير كمومي وذا سلوك حتمي، وأنه يقوم فعلاً بتوجيه الدماغ للقيام بعمل ما، فإن علينا عندئذ إيجاد المبرر الذي يدعو العقل إلى اتخاذ ذاك الإجراء بالذات. إذ لو كان العقل غير كمومي فإن الحالة العقلية التي تؤدي إلى الفعل تتحدد تماماً بحالات العقل السابقة وبالآثار التي ترتد عليه من الدماغ، الأمر الذي يحيله إلى مجرد آلة نيوتنية عاجزة عن السيطرة على شؤونها الذاتية، وبالتالي تأتي كل فعالياتها كنتيجة لحالاتها السابقة والحاضرة. من ناحية أخرى، وإذا كان عمل العقل غير حتمي على شاكلة ماتفعل الجمل الكمومية، فإنه سيكون عرضة للتفاوتات العشوائية (لنزوات غير مسيطر عليها)، وسوف تسيطر الاعتباطية عندئذ على قراراته، ولن يكون الحال هنا بأفضل مما سبق، إذ أن كلتا الصورتين تبتعدان

* قام المؤلف بمعالجة موضوع اللاتناظر الزمني وعلاقته بالعمليات الترموديناميكية بالتفصيل في الفصل الثالث من كتابه «المكان والزمان في العالم الكوني الحديث» الذي قام بنقله إلى العربية الدكتور أدهم السمان. (المترجم)

ابتعاداً كلياً عن المفهوم التقليدي للإرادة الحرة. إن الإرادة الحرة لا تتحقق إلا إذا كان العقل قادراً على تغيير ماضيه نفسه بما يُمكنه من تغيير حاضره ومستقبله أيضاً. عندئذ، يكون العقل حراً في بناء الكون الذي يرغب، بما فيه هو نفسه، ومن ثم في هدمه وإعادة بنائه إلى ما شاء الله. طبعاً، هذا هو ما يحصل، بمعنى ما، في نظرية الأكوان المتعددة لإفرت؛ لكن حرية الإرادة هناك وهم صرف، لأن جميع العوالم الممكنة تظهر إلى الوجود فعلاً، والعقل في حالة انقسام متكرر ليأهل العدد الهائل منها، وكل عقل يتخيل أنه مسيطر على قدره الخاص، لكن مع حصول الأقدار كافة معاً وعلى التوازي.

على الرغم من عدم وجود دليل قاطع على أن عقل المراقب أو إرادته يستطيعان التأثير على العالم المادي بإجبار حجر النرد على الانحياز في لعبة الحظ الكمومية، فإن هناك ما يدعو إلى الاعتقاد بأن المجرب يستطيع أن يقرر المستقبل. لقد بينا في الفصل السادس كيف يمكن للمجرب أن يغير من البدائل الكمومية المتاحة، حتى وإن لم يكن قادراً على فرض خيار بعينه، وذلك باختيار قياس واحد من المقادير الملحوظة. والمثال الذي تفحصناه حينئذ بشيء من التفصيل كان عن المقطب والفوتون، حيث يستطيع المجرب أن يخلق عالماً يتخذ فيه الفوتون حالة استقطاب معينة إذا اخترق المقطب. ومثال آخر يخص موضع الجسيم وحركته؛ فباختيار أي المقدارين يبغي قياسه، يستطيع المجرب أن يخلق عالماً يكون فيه إما لموضع الجسيم أو لحركته قيمة محددة، على الرغم من أن هذه القيمة تبقى خارج حدود سلطته وخاضعة للمصادفة. إن الأمر يبدو هنا كلعبة حظ يحاول المرء فيها أن يأخذ قطعة من أحد صندوقين، الأول يحتوي على الشوكولا والآخر على السكاكر: فهناك عنصر من الحظ كما أن هناك عنصراً من الاختيار. على أي حال، وكما هو واضح، تمثل قدرة المجرب الكمومي على تقرير المستقبل، وإن كانت محدودة، تحسناً كبيراً بالمقارنة مع ما كانت تقول به حقبة ما قبل الكم، حيث كان المجرب مجرد دمية تتحرك عبر الزمن كمسننات الآلة. ومع هذا، ليس هناك من سبب يدعو إلى الافتراض بأن المستقبل ليس موجوداً دائماً، على الرغم من أنه ليس محدداً تماماً ومن أن للمراقب يداً في تشكيله.

المسمار الأخير في نعش فكرة أن المستقبل ينتظر لكي يظهر إلى الوجود، يأتي من نظرية النسبية. فقد بينا مسبقاً أن آنية الأحداث المنفصلة عن بعضها مكانياً هي مفهوم نسبي، ولذلك ليس هناك من معنى للادعاء بأن الحاضر فقط هو الحقيقي، إذ حاضر من هو المقصود؟ إن الاعتقاد بأن العالم موجود الآن فقط وأنه يتغير في اللحظة التالية إلى ظروف جديدة وحقيقة

جديدة، أمر أُسيء فهمه، ليس فقط لأنه ليس هناك عالم حقيقي مستقل عنا، كما تبين من تحليل عملية القياس الكمومية، بل لأن أي مراقبين اثنين متحركين أحدهما بالنسبة للآخر، ينسبان مواقيت مختلفة للحدث الواحد. فأي شخصين يتمشيان على الأرض مثلاً بحركتين مختلفتين، سيختلفان لدى مراقبة الأحداث التي تجري على الكوازار 3C273 بخصوص الحدث الذي يحصل متزامناً مع لحظة التقائهما، وقد يبلغ الفرق بين تقديريهما آلاف السنين، ولكل منهما الحق في ذلك الوقت أن يؤكد حقيقة الحدث الكوازاري المزامن له. إلا أنه من الواضح أن تعريف الحقيقة هذا عديم الجدوى، لأنه يمكن تغييره حسب الرغبة، إذ يكفي أن يقوم المرء من مقعده ويتمشى ليمسح آلاف السنين من الأحداث الحقيقية على ذلك الجرم الفلكي البعيد. فبمجرد الحركة يمكن لحدث في الحاضر هناك أن ينقذف فجأة إلى المستقبل أو الماضي ثم يعود إلى ما كان عليه. وبشكل مماثل، سوف يختلف الغرباء في أرجاء الكون الأخرى والمتحركين بالنسبة لبعضهم على ما إذا كانت السنة على الأرض هي فعلاً ١٩٨٠ أم أنها ٥٧٦٠. فكل واحد منهم يظن أن الحدث الذي اختاره، هو الذي يحصل الآن وبالتالي هو الحدث الحقيقي، بينما الآخر مخطئ في اعتباره. والواقع هو أن ليس منهما من هو على صواب، لأنه ليس هناك حاضر كوني ولا حقيقة كونية شاملين.

قد يكون من المثير أن نتعرف على فعاليات الدماغ المسؤولة عن الإحساس بالتدفق الزمني، إذ يبدو من المحتمل أن تكون هذه الفعاليات مرتبطة ارتباطاً وثيقاً مع الذاكرة غير المتناظرة زمنياً أيضاً. فنحن نتذكر الماضي، لا المستقبل، ولذا فإن الزمن يقترن بنوع من اللاتناظر العقلي، إذ لو لم يكن لنا ذاكرة لاختفى الوعي ولاختفى معه تدفق الزمن. نحن لا نقصد هنا ظاهرة فقدان الذاكرة المرضية المعروفة، بل نقصد حالة أن لا نتذكر البتة أي حادث مهما كان حديث العهد في وقوعه. ففي تلك الظروف، لا يمكن للمرء أن يدرك شيئاً من محيطه، لأن المعلومات التي يتحسسها سوف تستحيل إلى مجرد مجموعة من الانطباعات اللحظية عديمة الترابط والمعنى، ويصبح من غير الممكن للمرء أن يتذكر ماذا كان يفعل أو الحالة التي كان فيها العالم من حوله، الأمر الذي يجعل من الأفعال والتصرفات المخططة أمراً مستحيلاً. إن الذاكرة، وعلى المدى القصير على الأقل، جزء لا غنى عنه في عملية الإدراك، لأن الإدراك يقوم على تنظيم الانطباعات الحسية التي تولّد معرفة وخبرة عما سبق من أحداث حولنا، بحيث يمكن ربط الأحداث الواحد مع الآخر وربط وجودنا بالذات مع العالم من حولنا.

ربما يعترض بعضهم على تفسير جريان الزمن بدلالة الذاكرة بأنه ليس سوى استبدال لغز

بلغز آخر ، لأن الماضي فقط هو ما نتذكره ، وليس المستقبل . ما هو أصل هذا اللاتناظر بين الماضي والمستقبل؟ إننا لحسن الحظ نقف على أرض صلبة هنا ، لأن علاقة الماضي بالمستقبل هي علاقة غير ظرفية (بمعنى أنها لا تقوم على أساس « سوف » و« كان » وما شابههما من وسائل التعبير عن الفعل الماضي والمضارع) ، ولذلك يمكن دراستها في إطار قوانين الفيزياء المعروفة . فكل ما من حولنا يُظهر علاقة ماض ــ مستقبل لا متناظرة ، وقد ضربنا مثلاً على ذلك التحول الحتمي للترتيب إلى فوضى . إذ ينص القانون الثاني للثرموديناميك على أن مقدار الفوضى الكلية في الكون يتزايد باستمرار ، ولذلك فإن تنامي الترتيب في موقع ما لا يمكن أن يحدث إلا على حساب تزايد أكبر في الفوضى في مكان آخر . ولذلك فإن تراكم المعلومات في ذاكرتنا يتم على حساب قدر كبير من النشاط الحيوي في أجسامنا : عمليات أجهزة الإحساس ، انتقال المعلومات الواردة ومعالجتها ، تخزين المعلومات في المواقع المخصصة لها من الدماغ ، وأخيراً تغير الترتيب الكهركيميائي لخلايا الدماغ كي تسجل الوقائع المكتسبة حديثاً . إن جميع هذه العمليات تجري في الجسم باستخدام الطاقة التي يقدمها الغذاء والتي تمثل تبديداً غير عكوس للطاقة المنظمة إلى حرارة جسدية ، بما يتفق تماماً مع المبدأ العام الوارد في الصفحة ١٧٤ . إن الذاكرة إذن ليست تلك الظاهرة الغامضة ، وهي موجودة لدى جُمَل أخرى كالعنكبوت والحاسوب ، وما المكتبات ، وجميع وسائل تسجيل الماضي من مستحاثات وغيرها ، سوى أمثلة للذاكرة بمعناها العام . إنها تخضع جميعاً لقانون الثرموديناميك الثاني اللاامتناظر زمنياً ، وهي جميعها تضفي على الكون علاقة عدم التناظر بين الماضي والمستقبل ، التي ارتقت ، على ما يبدو ، في عقولنا إلى بنية أكثر تطوراً للزمن الذي يتدفق من الماضي إلى المستقبل .

هناك بالطبع الكثير من الظواهر اللاعكوسة التي تسهم في عدم التناظر الزمني للكون . فمن الأمثلة الممكن إيرادها في هذا الصدد نذكر : الهرم والشيخوخة ، وتهدم الأبنية ، وتآكل الجبال وحتها ، واحتراق النجوم ، وتوسع الكون ، وانكسار البيض ، وتبخر العطر من الزجاجة المفتوحة ، وانتشار الموجة في بركة الماء بعيداً عن نقطة منشئها ، و وصول الأمواج الراديوية بعد إرسالها . ففي كل هذه الحالات لا يمكن للتسلسل الزمني للأحداث أن ينعكس . فنحن لم نصادف عطراً متبخراً يعود من تلقاء نفسه إلى الزجاجة ، كما لا يقوم المبنى المتهدم تلقائياً ليعود كما كان . يجب التأكيد هنا على أن هذه الظواهر لا تُعَرِّف الماضي أو المستقبل اللذين حاولت البرهان مسبقاً على عدم وجود معنى لهما ، وإنما تشير فقط إلى أي من الأحداث وقع قبل سواه . فنحن لو أخذنا شريطاً سينمائياً يصور

وقوع بيضة وانكسارها، لن يكون لدينا أدنى شك في أي من طرفي الشريط يمثل الأحداث الأسبق، لأن البيض في العالم الحقيقي لا يتحول من مكسور إلى سليم: إن انكسار البيض غير عكوس.

تبين الدراسة الدقيقة أن من الممكن وصف معظم الحوادث اللاعكوسة بالقانون العام الذي يحكم تنامي الفوضى، أي القانون الثاني للثرموديناميك. في بعض الحالات، كانكسار البيض وتبخر العطر وتهدم المباني، نرى تزايد الفوضى واضحاً جلياً، في حين أنه أقل وضوحاً في حالات أخرى. فالميقاتية التي تستهلك ذخيرتها من الطاقة الميكانيكية تسهم في الفوضى العامة للعالم، لأن فعاليتها المرتبة ـــ تناسق دوران مسنناتها وعقاربها ـــ تتحول إلى نشاط فوضوي في أثناء التبدد التدريجي للطاقة الميكانيكية المخزونة فيها على شكل حرارة تسخن مادة الميقاتية. أي أن الطاقة المخزونة أصلاً في نابض الميقاتية تتحول إلى ارتجاجات عشوائية ذرية بعد أن كانت تعمل على تنظيم حركات المسننات.

لقد كان اللاتناظر الزمني لعالمنا لغزاً محيراً لمدة طويلة: لماذا يُخلي الترتيب السبيل دائماً للفوضى؟ لفهم هذا النزوع العام يمكن العودة إلى مثال خلط أوراق اللعب. فإذا كانت مجموعة الأوراق أصلاً في حالة ترتيب معين وكان الخلط عشوائياً، فإن المجموعة ستنتهي، وباحتمال عال للغاية، إلى حالة من عدم الترتيب الشديد. ولئن كان احتمال أن تنتهي الأوراق، بعد الخلط العشوائي، إلى ما كانت عليه من ترتيب غير معدوم تماماً، إلا أنه ضئيل لدرجة لا تصدق.

في الكثير من الفعاليات الطبيعية يحصل نوع من هذا الخلط كنتيجة للتصادمات الداخلية بين جزيئات المادة، كما نوهنا عن ذلك في الفصل السابق، وتبخر العطر من الزجاجة المفتوحة يعطي مثالاً جيداً للتشابه مع خلط أوراق اللعب. في بداية الأمر يكون العطر، كأوراق اللعب في حالة ترتيب تام يتجلى في كونه محصوراً ضمن الزجاجة. لكن بسبب تصادم جزيئاته مع وابل جزيئات الهواء الذي يعلوه، يتبخر تدريجياً بتصاعد جزيئاته من سطح السائل للانتشار في جو الغرفة. وفي النهاية يتوقف الخلط ويصبح العطر منتشراً في الهواء على نحو لا يمكن جمعه ثانية لامتزاج جزيئاته بعشوائية تامة مع جزيئات الهواء. إن مفعول الخلط كان إذن في صالح تحول حالة العطر المرتبة إلى حالة فوضوية، بعملية لا عكوسة كما يبدو.

إن نزوع الترتيب للتحول إلى فوضى على نحو غير عكوس يطرح علينا أحجية كبيرة، لأن من المعروف أن كل تصادم مفرد بين جزيئين هو عملية عكوسة، وبالتالي لا يكون هناك خرق لأي من قوانين الفيزياء الأساسية لو أن جزيئات العطر عادت تلقائياً للتجمع ثانية في الزجاجة. ومع

ذلك فإننا نعتبر مثل هذا الحدث من قبيل المعجزات. فلو استطعنا بوسيلة ما، وبعد أن يتصادم الجزيئان ويتباعدان، أن نعترض طريقهما ونرجعهما بالضبط على نفس المسار إلى الوراء، لعادا ثانية إلى موقعيهما الأصليين. ولو أمكن تطبيق ذلك على جميع جزيئات العطر والهواء معاً، فإن مجمل هذه الجزيئات ستتحرك بالاتجاه المعاكس، كالفيلم السينمائي عندما يعرض بالمقلوب، إلى أن تنتهي جميعاً إلى حيث كانت في الزجاجة. إن إمكانية حدوث مثل هذه المعجزة تتجلى أيضاً في عملية خلط أوراق اللعب، إذ لو قمنا بخلط الأوراق دون توقف إلى ما شاء الله، فسنجد أنها سوف تنتهي، عاجلاً أو آجلاً، إلى وضع مرتب كما كانت في الأصل. قد يكون الزمن اللازم لذلك طويلاً للغاية، لكن وعلى أساس احتمالي بحت، لا بد أن يؤدي الخلط العشوائي في النهاية بالأوراق لتأخذ كل ترتيب يمكن تصوره، بما في ذلك الترتيب الأصلي. وعلى غرار ذلك، سوف تؤدي التصادمات الجزيئية المستمرة إلى وضعية الترتيب مرة أخرى، وسيعود العطر إلى الزجاجة، إذا أتيح الوقت الكافي وشريطة أن تكون الغرفة محكمة الإغلاق لمنع الجزيئات من التسرب إلى خارجها.

الأحجية هنا هي: إذا كان الانتقال بين الترتيب والفوضى ممكناً في الاتجاهين وعلى قدم المساواة، فلماذا لا نصادف في حياتنا العادية إلا حالة الانتقال من الترتيب إلى عدمه، كتبخر العطر وحت الجبال واحتراق النجوم... إلخ؟ لحل اللغز علينا أن نسأل في كل حالة من الحالات كيف أمكن حصول الترتيب في الأصل، أي كيف أتى العطر إلى الزجاجة في البداية؟ نحن لا نتوقع طبعاً أن أحداً وضع زجاجة مفتوحة في غرفة جوها مليء بجزيئات العطر وانتظر زمناً طويلاً لكي تحصل المصادفة التي ينتهي بها العطر إلى الزجاجة. إن جدوى هذه الطريقة لا تزيد عن جدوى صيد السمك بسلة مفتوحة عند ضفة النهر وانتظار السمك أن يقفز إليها من تلقاء نفسه. في العالم الحقيقي، يحصل انتقاء الحالات المرتبة من المحيط منذ البداية، فهي لا تتشكل عشوائياً. إن العالم حولنا غني بالبنية المرتبة التي يعود معظمها — في حالة الأرض — إلى طاقة الشمس التي تغذي الكثير من الفعاليات المنظمة والتي تحصل في محيطنا. فالشمس، والنجوم عموماً، هي أمثلة جيدة لانتظام المادة والطاقة في الكون؛ ومع الأيام والسنين، تحترق النجوم وتتبدد الطاقة المأسورة فيها بعيداً في أرجاء الكون على شكل حرارة وضوء، ويمضي الكون ببطء، كميقاتية عملاقة، مستنفداً طاقته المرتبة. إنه حتى على صعيد الكون، يتبدد الترتيب إلى فوضى، وبطرق لا حصر لها.

يبدو أن عدم التناظر بين الماضي والمستقبل، بجذوره الممتدة عميقاً في النزوع وحيد الاتجاه لتحول الترتيب إلى فوضى، قد أتى من أصل يتعلق ببنية الكون الكلية. لفهم من أين أتى هذا

الترتيب الكوني أصلاً، وبالتالي لمعرفة أصل التمييز بين الماضي والمستقبل، علينا أن نعود إلى معاينة مسألة خلق الكون: إلى الانفجار الأعظم. لقد كانت بنية الكون الابتدائية، التي انبثقت عن الجحيم الأولي، على درجة عالية من الترتيب عملت الفعاليات الكونية التي أتت فيما بعد على تبديده تدريجياً؛ لكن ما زال يوجد الكثير منه حتى الآن، إلا أنه لا يمكن أن يدوم إلى الأبد. فالترتيب الذي يحكم الشمس والنجوم، والضروري لنشوء الحياة، يعود إذن في أصله إلى التفاعلات النووية التي ضمنت للكون الوليد أن يكون مؤلفاً بشكل رئيسي من العناصر الخفيفة كالهيدروجين والهليوم، تلك الخاصة التي نجمت عن السرعة الكبيرة التي حصل بها توسع الكون في البداية، والتي لم تُعْطِ المادة الكونية الوقت الكافي لطبخ العناصر الثقيلة. أضف إلى ذلك اعتماد هذا الترتيب على التجانس النسبي لتوزع المادة الكونية آنئذ، الأمر الذي حال دون تشكل الثقوب السوداء بوفرة، مباشرة بعد الانفجار الأعظم. من هذا يتضح لنا مرة أخرى كيف أن الحياة في هذا الكون تدين أساساً إلى الترتيب الكوني الملائم منذ البداية، ذلك الترتيب الذي قام عليه التمييز الواضح بين الماضي والمستقبل، والذي ارتقى إلى قمة التعقيد في المادة الحية.

لدى النظر إلى الترابط الوثيق بين وجودنا وبين اللاتناظر الزمني والانتظام الكوني البدئي في إطار الفضاء العظيم، نجد أن كوننا المنتظم ليس إلا واحداً من عدد ضئيل من كل العوالم الممكنة الأخرى. ومن بين بقية تلك العوالم أكوان تسودها الفوضى الكلية، كما أن هناك عوالم ابتدأت بالفوضى وتطورت باتجاه الانتظام. وفي مثل هذه العوالم، يجري الزمن بالاتجاه المعاكس لاتجاهه في عالمنا. لكن إذا كانت هذه العوالم مأهولة بالمراقبين، فإنه يفترض أن أدمغتهم تخضع للعملية العكسية أيضاً، ولذلك لا يختلف إدراكهم لكونهم عن إدراكنا لكوننا إلا قليلاً (على الرغم من أنهم يعتبرون أن عالمهم في حالة تقلص بدلاً من التوسع).

عندما نتفحص المعادلات المتعلقة بالطبيعة الكمومية للفضاء العظيم ، يتبين أنها تتمتع بخاصة قابلية الانعكاس، أي أنها لا تميز الماضي عن المستقبل؛ ففي الفضاء العظيم لا يوجد ماض ومستقبل متميزان. لكن بعض العوالم تحتوي بالتأكيد على خاصة الماضي ــ المستقبل، وهذه العوالم بالضبط هي التي تستطيع توفير مناخ للحياة. وبعضها الآخر يتمتع بالعلاقة اللاتناظرية العكسية: المستقبل ــ الماضي، وقد تكون هذه العوالم مأهولة أيضاً. إلا أن الغالبية العظمى لا تحتوي على هذا التمييز بين الماضي والمستقبل، ولذلك فهي لا تصلح للحياة ولا يوجد فيها من يلاحظها. في نظرية إفرت تتمتع جميع الأكوان، بما في ذلك تلك ذات العلاقة الزمنية العكسية، بوجود حقيقي مواز

لوجود عالمنا. أما في التفسير التقليدي للنظرية (تفسير كوبنهاغن)، فإن تلك الأكوان كافة ممكنة إلا أنها أخفقت، وعلى أساس احتمالي صرف، في الظهور إلى الوجود الحقيقي، على الرغم من أنها ما تزال ذات حظ في الظهور في المستقبل البعيد أو على الطرف الآخر من الكون. أما عالمنا الداوئ الذي نعيه وندركه، فقد يكون مجرد فقاعة محلية من الانتظام في كون تسوده الفوضى، ونحن لا نراه إلا لأن وجودنا ذاته يعتمد على الشروط الملائمة لنا فيه.

لقد تم في هذا الفصل إبراز التباين الكبير بين نموذج الزمن الذي يتبناه الفيزيائيون، وذاك الذي يقوم على ممارساتنا الشخصية بما فيه من الصور النفسانية القدرية والحركة العجيبة. إن المساحة الظليلة ما بين العقل والمادة، والفلسفة والفيزياء، والسيكولوجيا والعالم الموضوعي، أصبحت الآن على عتبة الاستكشاف؛ ومع ذلك فإن أي صورة نهائية للحقيقة لا يمكن أن تزيلها. قد يتبين أن صور الزمن الغالية والعزيزة على قلوبنا كوجود لحظة الحاضر وجريان الزمن والإرادة الحرة وعدم وجود المستقبل وغيرها، ما هي إلا أوهام وخرافات انبثقت عن الفهم السقيم للعالم الفيزيائي من حولنا. وقد لا يستعمل أحفادنا هذه المفاهيم على الإطلاق، مما يوحي عندئذ بأنهم سوف يقومون بإعادة ترتيب أمورهم الحياتية على نحو مخالف تماماً لما نفعله نحن اليوم. ربما تكون هناك مجتمعات متقدمة في أماكن أخرى من الكون قد أقلعت كلياً عن استخدام مفاهيم مرور الزمن وتغير الأشياء و وجود لحظة حاضر وحيدة تغذ السير باتجاه المستقبل المجهول. نحن لا يمكننا طبعاً معرفة الأثر الناجم عن إقلاعهم عن استخدام تلك المفاهيم على تصرفاتهم وطرق تفكيرهم؛ ذلك أنهم، دون خوف وندم، وتوقع ومشاركة، وارتياح ونفاذ صبر، وما إليها من المشاعر المرتبطة بتدفق الزمن والتي نمارسها في حياتنا اليومية، ستكون رؤيتهم للعالم مبهمة بالنسبة لنا تماماً. حتى أنه من المحتمل أن لا نستطيع التواصل معهم على الإطلاق باستخدام وسائل التفاهم الشائعة لدينا. ومن ناحية أخرى، قد تكون عقولنا أكثر ثقة من أدوات القياس في مخابرنا، وقد يكون للزمن فعلاً تلك البنية الغنية التي نحس بها. عندئذ، سوف تشهد طبيعة الحقيقة والزمان والمكان والعقل والمادة ثورة لم يسبق لها مثيل في عمقها. وفي كلتا الحالتين ما يروع النفس.

المحتوى

العوالم الأخرى : صورة الكون والوجود والعقل والمادة والزمن في الفيزياء الحديثة = Other Worlds / بول ديفيس ؛ ترجمه عن الانكليزية حاتم النجدي ؛ مراجعة أدهم السمان ؛ قدم له مصطفى طلاس . ــ دمشق : دار طلاس، ١٩٩٠ . ــ ٢٢٠ ص. ؛ ٢٤ سم . ــ (سلسلة الثقافة المميزة ؛ ١) .

١ ــ ٥٠٨٫٩٩ دي‌ف ع ٢ ــ العنوان ٣ ــ العنوان الموازي ٤ ــ ديفيس
٥ ــ النجدي ٦ ــ السمان ٧ ــ طلاس ٨ ــ السلسلة

مكتبة الأسد

رقم الإيداع ــ ١٩٩٠/٩/٧٣٩

رقم الإصدار ــ ٥٠١

هل تكون آلية ظهور الكون إلى الوجود عديمة المعنى أم مستعصية على الفهم أم كليهما معاً؟ إذا لم يُقدَّر لهذا الكون أن ينتج الحياة والوعي والقدرة على الملاحظة في مكان ما ولبعض الزمن من تاريخه؟ إن مبادئ نظرية الكم تبين أن هناك معنى للاعتقاد بأن ما سوف يفعله المراقب الواعي في المستقبل يحدد ما يحصل في الماضي، حتى في الماضي البعيد، حين لم تكن هناك حياة على الإطلاق، وتري فوق ذلك أن الملاحظة ذاتها شرط ضروري مسبق لوجود أي شكل للحقيقة ذي مغزى.

لماذا كان ترتيب العالم حولنا كما هو عليه؟ في الواقع، ليس الكون الذي نقطن فيه سوى مكان خاص جداً ببنيته الغنية، وفعالياته العالية التعقيد، فهل هناك ما هو خصوصي مميز في توزع المادة والطاقة على النحو الذي نراه عملياً، وخلافاً لما كان من الممكن أن يكون؟ بكلمات أخرى، لماذا يختار وعينا هذا الكون بالتحديد من بين ذلك العدد اللامتناهي من الأكوان الأخرى في الفضاء العظيم؟

